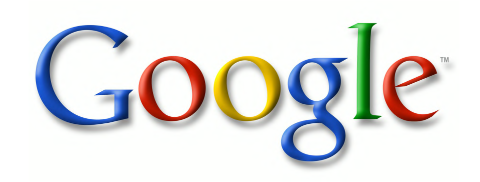




ATTI

DEL

CONGRESSO INTERNAZIONALE

DELLE

APPLICAZIONI ELETTRICHE

tenutosi in Torino dal 10 al 16 settembre 1911

VOLUME III

Rapporti, Comunicazioni e Discussioni



TORINO
VINCENZO BONA
Tipografo delle LL. MM. e dei RR. Principi

1912



ATTI

DEL

Congresso Internazionale delle Applicazioni Elettriche

(Torino, 1911)



ATTI

DEL

CONGRESSO INTERNAZIONALE

DELLE

APPLICAZIONI ELETTRICHE

tenutosi in Torino dal 10 al 16 settembre 1911

VOLUME III

Rapporti, Comunicazioni e Discussioni



TORINO
VINCENZO BONA
Tipografo delle LL. MM. e dei RR. Principi

1912

(68003-04)

Sezione IV

ILLUMINAZIONE E RISCALDAMENTO ELETTRICO

Presidente	C. A. Rossander	(Svezia)
Vice Presidenti	C. H. Sharp	(U. S. A.)
	G. Mengarini	(Italia)
Segretario	F. Danioni	(Italia)

État actuel et futur développement du chauffage électrique.

Rapporto sul Tema N. 27 del Congresso.

Relatore M. C. A. Rossander (Stockholm).

On sait que la chaleur solaire est la source de toute énergie sur la terre. La houille, employée dans nos machines à vapeur, n'est, à tout prendre, que de la chaleur solaire emmagasinée, de même que les chûtes d'eau qui actionnent nos turbines doivent au soleil leur existence. La chaleur est donc la forme essentielle et primordiale de l'énergie et elle est aussi, comme l'on sait, la forme vers laquelle tend l'énergie. De transformer la chaleur en une autre forme d'énergie est ainsi toujours un procédé très difficile et dispendieux, tandis que la transformation d'une autre forme d'énergie quelconque en chaleur se fait toujours facilement, souvent même trop facilement. Toute autre forme que la chaleur est comme un costume incommode que l'énergie ne rêvet qu'à contre-cœur et qu'elle rejette à la première occasion.

La chaleur peut donc être considérée comme la forme d'énergie primitive, tandis que toutes les autres sont plus ou moins dérivées. L'électricité, qui, pratiquement parlant, ne peut être obtenue directement de la chaleur, et qui se distingue des autres formes d'énergie par la facilité avec laquelle on peut la transporter et la transformer en d'autres formes d'énergie, peut être considérée comme une forme d'énergie très perfectionnée. Il est donc facile de comprendre qu'on n'ait pas en général jugé

expédient de transformer exprès l'électricité en chaleur, à plus forte raison si l'électricité avait été produite d'abord à grands frais et difficilement par le moyen de la chaleur. L'usage de l'électricité pour le chauffage, à cause de cela, a été pratiqué jusqu'à présent surtout dans les cas où l'on désirait obtenir des températures très élevées, comme pour la fabrication du carbure de calcium, pour la fabrication ou l'affinage de certains métaux, tels que le fer, le zinc, etc., ainsi que pour certains usages industriels, tels que la trempe, le soulage, etc. Dernièrement, néanmoins, les applications domestiques du chauffage électrique, par conséquent pour la cuisine et la boulangerie et autres objets semblables ainsi que pour le chauffage des appartements, se sont attiré une attention croissante, et ce sont ces derniers usages qui seront principalement traités dans la suite.

Méthodes pour la transformation de l'électricité en chaleur.

Pour commencer je rendrai compte brièvement des diverses méthodes employées dans la pratique pour transformer l'électricité en chaleur et des principales constructions employées à cet effet. Je me sers pour cela en partie du rapport fort complet fourni sur ce sujet par M. Goisot au Congrès de Marseille (1).

L'énergie électrique peut être transformée en chaleur par trois moyens différents, savoir:

1° L'arc électrique,
2° Les courants de Foucault et
3° L'effet de Joule.

Le chauffage par le moyen de l'arc électrique.

Le premier de ces moyens est, il est vrai, très employé dans les fours électriques destinés à des usages industriels, mais pour les usages dont il est question ici il n'a guère d'importance pratique.

---

(1) M. Goisot, *Le chauffage par l'électricité*, Congrès de Marseille, 1908.

Chauffage par le moyen des courants Foucault.

Le chauffage par les courants Foucault a été très employé dans l'industrie (p. ex. pour fondre le fer), mais pour ce qui est des appareils destinés aux usages domestiques etc., il n'a été appliqué que dans une mesure très restreinte. La méthode présente néanmoins certains avantages, par suite de quoi elle semble mériter d'attirer l'attention plus qu'elle ne l'a fait jusqu'à présent, même si l'on tient compte de ce que les appareils de ce genre peuvent naturellement être employés seulement avec un courant alternant. Cependant un certain nombre d'appareils de ce genre existent; p. ex., ceux de la Société d'Électricité Alioth, Société des Brevets Dolter, etc. Tout dernièrement on a décrit un four construit par W. K. Freudenberger d'après ce principe (1) et destiné à fondre le métal de brasage, la colle-forte, la cire, le plomb etc., ainsi que des fers à repasser du même genre. Ces appareils paraissent se distinguer par une construction simple et solide.

Chauffage par le moyen de l'effet Joule.

La plupart des appareils de chauffage électrique sont basés sur l'effet Joule; l'énergie électrique est transformée en chaleur dans une résistance ohmique. De ces appareils on possède de nombreuses constructions qui se distinguent principalement par la nature diverse des résistances.

Les résistances usitées généralement peuvent se diviser en trois catégories principales: résistances non métalliques, résistances métalliques (pur ou alliages) et résistances agglomérées.

Résistances non métalliques.

Pour des résistances de cette sorte on se sert de filaments de charbon ordinaires, enfermés dans des ampoules de verre, semblables aux lampes à incandescence ordinaires. Néanmoins ces ampoules ne sont pas généralement vides d'air comme les lampes

(1) *Electrical World*, vol. 57, pag. 875.

à incandescence, mais contiennent un gaz inerte tel que le carbure d'hydrogène etc., lequel dérive par convection une partie de la chaleur et diminue l'éclat lumineux du fil de résistance. Les résistances de ce genre s'emploient surtout dans les grands appareils, tels que fourneaux d'appartements etc.

Un autre genre de résistances sont les résistances dites de silundum. Le silundum est un carbon qui a été rendu réfractaire au feu par le chauffage au rouge dans la vapeur de silicium. On le dit infusible, inoxydable, dur et fort résistant.

Résistances métalliques.

Les résistances faisant partie de la seconde catégorie, les conducteurs métalliques, sont les plus fréquentes et se rencontrent dans des variations presque innombrables. Les métaux purs, dont il peut être question en premier lieu, sont le fer, le platine et le nickel. Le fer a le défaut d'être facilement oxydable, le platine celui d'être trop coûteux. Le nickel est par conséquent probablement employé de préférence à tous les autres métaux purs, bien qu'il ait le désavantage d'un coefficient de température élevé. Les plus usités sont néanmoins les alliages de métaux, dont on rencontre un grand nombre d'espèces différentes. Ces alliages ont en général l'avantage d'avoir un coefficient de température peu élevé et une grande résistance à l'action de l'air; certains d'entre eux éprouvent néanmoins à l'usage avec le temps une modification de leur consistance, une sorte de cristallisation qui les rend fort fragiles (on peut observer un effet analogue dans le filament incandescent des lampes à filament métallique). Les alliages métalliques ont aussi en général un point de fusion relativement bas, et ne supportent par conséquent pas de si hautes températures.

Pour ce qui est de l'exécution des éléments de résistances métalliques, il en existe des constructions nombreuses. Parfois les fils de résistance sont introduits dans des tubes de verre clos semblablement aux filaments de charbon ci-dessus nommés. En général néanmoins le filament de résistance est enroulé autour ou encastré dans une matière isolante convenable. De cette façon sont disposés les tapis de résistance en asbest qui s'emploient sur une grande échelle pour les grands éléments caloriques. Une construction spéciale de ces résistances est celle

employée par la société " Electra „ (brevet Schindler-Jenny), où les fils de résistance sont encastrés dans un noyau isolant très réfractaire à la chaleur et le tout est entouré d'une enveloppe métallique.

Une autre forme d'exécution spéciale est celle employée par la fabrique " Prometheus „, où les éléments de résistance se composent de larges bandes de matière isolante, p. ex., de mica, sur lesquelles a été déposée une solution de métal précieux. De cette façon on obtient une très petite surface de coupe chez le corps conducteur, grâce à quoi on obtient une résistance suffisante en même temps qu'une surface de refroidissement suffisamment grande.

Enfin il faut citer les " Thermophiles „ brevetés de M. C. Herrgott, Valdoie en France. Ces termophiles sont des tapis, tissus, etc., construits de " fils électrothermiques „, de fils textiles et conducteurs, et destinés pour le chauffage des appartements et d'autres applications hygiéniques ainsi que pour des différentes applications médicales et industrielles. Ces appareils semblent avoir des avantages considérables. En outre je veux faire remarquer, que les tapis pour le chauffage des appartements ont l'avantage de chauffer l'appartement près du parquet, où la chaleur est la plus nécessaire, et encore que leur température est relativement basse, dépendant de la grande surface chauffante, ce qui donne une chaleur agréable.

Pour les éléments caloriques plus grands, destinés au chauffage des appartements, où par conséquent la température excédante doit être maintenue relativement basse, on se sert aussi de résistances en torsades de fonte de fer, ou quelque chose de semblable.

Résistances agglomérées.

La troisième espèce de résistances se compose, comme il a été dit plus haut, d'un mélange de matières conductrices et isolantes. Parmi celles-ci il faut citer la résistance métallo-céramique de Parvillé, qui consiste en une poudre métallique (chrome, nickel, etc.) avec de l'argile, le tout comprimé ensemble à une pression élevée et cuit à une haute température (1200° à 1500°).

W. Heraeus a émis une autre proposition dans le même sens, savoir d'encastrer le conducteur métallique dans une masse

poreuse de silicat ou quelque chose de semblable. Cette masse est imprégnée d'une solution de sels métalliques, du groupe platinique, avec du chlorure d'ammonique ou autres sels ammoniacaux. Les sels sont réduits par le chauffage, après quoi le métal remplit les creux de la masse poreuse.

Enfin il faut citer la masse au cryptol inventée par le Dr. Voelker. C'est une masse noire, granulée, composée d'un mélange de charbon resp. graphite et d'argile ou autres conducteurs dits de seconde classe. La proportion entre les divers composants est néanmoins telle, que la masse est conductrice à température ordinaire. Un inconvénient de cette masse est que la résistance varie avec la température ainsi que sous l'action d'accidents extérieurs, secousses, chocs, etc., ce qui est probablement la raison pour laquelle elle ne semble pas avoir entièrement répondu aux espérances qu'elle avait fait concevoir.

En général on peut dire que, bien que la fabrication des appareils de chauffage électriques ait atteint une perfection remarquable, il y a encore place pour des améliorations, spécialement pour ce qui est de leur solidité, de la facilité de les réparer et du prix.

Après ce court aperçu des diverses méthodes et formes d'exécution, employées pour transformer l'électricité en chaleur, nous passerons à un examen de l'emploi des appareils électriques dans la pratique.

Appareils de cuisson, et autres semblables.

Tout d'abord nous examinerons l'emploi des appareils électriques de chauffage pour la préparation de la nourriture en général.

Les appareils usités à cet effet peuvent être divisés en deux classes, savoir ceux où le récipient même est disposé comme un appareil de chauffage (chauffage direct) et ceux où l'appareil de chauffage est un fourneau ou un foyer spécial sur lequel on place les récipients (chauffage indirecte). Dans le premier cas, où la chaleur est produite à l'intérieur des parois ou du fond du récipient, on peut tirer partie de presque tout le calorique pour les fins qu'on a en vue. Aussi l'effet de ces appareils est très grand et s'élève à 90 $^0/_0$ et plus. Une bouillotte électrique bien faite, p. ex., peut être facilement tenue à la main

pendant que l'eau bout, ce qui prouve clairement que la perte de chaleur par rayonnement est très minime. Lorsqu'on se sert d'un fourneau spécial pour le chauffage, les pertes de chaleur sont généralement plus grandes, mais ce dispositif a en revanche l'avantage qu'il permet l'emploi d'ustensiles de cuisine ordinaires, ce qui fait que toute la batterie revient à meilleur prix et est plus facile à se procurer que dans le premier cas, où l'on est obligé d'acheter un récipient spécial pour les diverses opérations et usages de la cuisine.

De décrire ici les divers appareils de cuisson qui existent dans la pratique, les bouillottes, casseroles, poêles à rôtir, appareils pour thé et café, etc., nous mènerait loin et serait en outre inutile, attendu qu' ils sont probablement généralement connus. En revanche il serait d'un grand intérêt d'examiner de plus près la question des frais d'exploitation des appareils de cuisson électriques et autres semblables.

Frais de cuisson à l'électricité.

La base théorique de ces calculs de frais est facile à déterminer: 1 kilowatt-heure correspond à 864,5 kg. cal. et, comme l'effet des appareils de cuisson électriques peut, comme il a été dit plus haut, être évalué à près de 90 %, on peut obtenir en chiffres ronds 780 cal. utiles par kw-heure. Pour chauffer 1 litre d'eau de 10° à 100° il faut ainsi, p. ex., 0,115 kw-heure.

Pour la cuisson, p. ex., E. R. Ritter (¹) donne quelques chiffres, dont nous citons les suivants:

pour cuire	850	gr.	de poisson . . .	240	watts-heures
„ „	1500	„	de viande de bœuf	320	„ „
„ „	1000	„	de rôti de veau avec sauce . .	800	„ „
„ „	1500	„	de lard avec sauce	900	„ „

M. Goisot (loc. cit.) donne, pour faire cuire la viande, un chiffre normal de 0,4 à 0,5 kw-heures par kg., soit un peu moins des chiffres cités plus haut.

(¹) " Elektrotechnische Zeitschrift ", 1909, H. 33/34.

Ces chiffres disent néanmoins peu de chose par eux-mêmes, et pour être éclairé au sujet des frais d'exploitation de la cuisson à l'électricité il vaudrait mieux chercher à établir une comparaison avec une méthode de cuisson déjà connue, par exemple au gaz.

Le gaz d'éclairage employé généralement a une valeur calorique d'environ 4700 cal. par m^3. Les essais pratiqués semblent prouver qu'on obtient avec le fourneau à gaz un effet utile d'environ 40 %, correspondant à environ 1880 cal. par m^3. D'après cela un kw-heure représenterait en valeur calorique environ 0,415 m^3 de gaz c.-à-d. qu'un kw-heure ne devrait pas coûter plus que le prix de 0,415 m^3 de gaz d'éclairage. Sinon la cuisine à l'électricité sera plus chère que celle au gaz.

Cependant ce calcul n'est applicable qu'à la cuisson de l'eau. Pour la préparation de la nourriture en général les circonstances sont probablement plus favorables à la cuisine à l'électricité, que ne le semblent prouver les chiffres ci-dessus, surtout à cause de la facilité avec laquelle on peut régler l'énergie électrique d'après les besoins du moment. La plupart des appareils de cuisson électriques, du moins les grands, sont disposés en vue d'un réglage simple de la consommation de l'énergie calorique par un couplage parallel et en série de divers circuits. Dans un grand nombre d'opérations, p. ex., pour la cuisson des soupes, on n'a maintenant besoin de la consommation entière de l'énergie que pour l'ébullition même, qui en général se fait en 15 à 20 min.; pour continuer à bouillir, opération qui dure de 4 à 12 heures, on peut réduire la consommation de calorique jusqu'à $^1/_4$ et moins. Une réduction de la consommation du gaz peut évidemment se faire aussi dans les fourneaux à gaz. Mais elle est toujours plus difficile et plus délicate à faire et exige une certaine habitude et réflexion, par suite de quoi elle ne peut généralement pas dans la pratique être poussée aussi loin qu' avec les appareils de cuisson électriques, où il suffit d'une simple manœuvre de commutateur. On ne peut donc obtenir un tableau tout-à-fait exact des frais comparatifs des deux méthodes qu'au moyen de chiffres obtenus par l'expérience pratique.

Malheureusement ces chiffres sont rares et les données dont on dispose diffèrent sensiblement, par suite de quoi il est difficile d'en tirer des conclusions définitives.

Ritter (loc. cit.) estime la consommation de gaz de cuisine

par personne et an à 300 m³; pour la consommation d'énergie dans la cuisson à l'électricité il donne des chiffres variant entre 175 et 320 kw-heures par an et par personne. L'auteur admet 200 kw-heures comme valeur moyenne, ce qui donne le résultat surprenant que le prix par kw-heure pourrait être de 50 % plus élevé que le prix d'un m³ de gaz. Il semble néanmoins que ces chiffres sont beaucoup trop favorables pour la cuisson à l'électricité. D'après l'expérience acquise dans mon propre ménage, où presque toute la cuisine se fait au gaz, j'évalue la consommation du gaz de cuisine à 250 m³ environ par an et par personne, lequel chiffre est assez approximatif, il est vrai, attendu qu'il faut faire plusieurs corrections assez indéterminées, pour le gaz consommé dans deux becs d'éclairage, pour le gaz servant à chauffer l'eau d'un bain et enfin pour le chauffage au bois ou au charbon employé parfois dans un fourneau ordinaire. Le chiffre est néanmoins probablement plutôt élevé.

L'usine à gaz de Stockholm de son côté donne, en s'appuyant sur l'expérience acquise, une consommation de seulement 100 m³ par personne et année comme chiffre normal. Mais ce chiffre en revanche me semble trop bas.

W. B. Voth (1) énonce, dans une conférence, qu'un kw-heure ne doit pas côuter plus que 18 pieds cubes ou environ 0,49 m³ de gaz pour que la cuisson à l'électricité ne revienne pas plus cher que celle au gaz. Dans la discussion qui suivit cette conférence M. Korst déclara que suivant son expérience la cuisson à l'électricité avec un prix de 4 cents par kw-heure revenait deux fois plus cher que la cuisson au gaz, le prix de ce dernier étant 1 dollar par 1000 pieds cubes. Selon cette déclaration par conséquent un kw-heure correspondrait à 20 pieds cubes ou env. 0,54 m³ de gaz, lequel chiffre se rapproche assez de celui donné par Voth.

Enfin il faut citer une déclaration de personnes intéressés dans l'industrie du gaz (2), d'après laquelle un kw-heure correspondrait à 0,19 m³ de gaz. Ce chiffre s'applique en effet au chauffage indirect; avec le chauffage direct il correspondrait à 0,31 m³ de gaz. Évidemment ce chiffre est aussi trop bas.

Comme on voit, il est difficile de tirer des conclusions cer-

(1) " El. World ", vol. 55, pag. 297.

(2) " Journal für Gasbeleuchtung ", 1911, N° 25.

taines de ces données contradictoires. Probablement on peut néanmoins admettre qu'un kw-heure correspond à un peu plus de 0,5, mais à moins d'1 m³ de gaz. Avec les données dont on dispose il n'est guère possible d'évaluer la proportion plus exactement.

Ceci s'applique naturellement seulement au prix du courant électrique resp. au prix du gaz. Pour ce qui est des frais d'achat des appareils nécessaires, il est clair que la cuisine à l'électricité, du moins en supposant que le système du chauffage direct soit usité, ce qui en règle générale est nécessaire comme diminuant les frais de courant électrique, sera plus chère que la cuisine au gaz, lorsqu'on emploie pour cette dernière une batterie de cuisine ordinaire. D'autre part la cuisson à l'électricité a, au point de vue de la propreté et la sécurité contre l'incendie, etc., des avantages si considérables en comparaison de la cuisson au gaz, que l'on devrait pouvoir admettre que les consommateurs ne se refuseraient pas généralement à payer un peu plus pour celle-là si ses avantages étaient suffisamment connus.

Le prix du gaz de cuisine est assez généralement de 12 à 15 Pfennig environ par m³, et par conséquent d'après les calculs ci-dessus le prix du courant électrique pour la cuisine devrait être d'environ 7 à 14 Pf. La question se pose alors si et dans quelle mesure les usines d'électricité sont capables de le fournir à ce prix. Pour ce qui en est on n'a pas, en Europe du moins, une expérience bien longue, attendu qu'on n'a pas encore employé l'énergie électrique pour la cuisine dans une mesure assez grande, pour qu'on ait acquis une connaissance pratique de cette question. A ce point de vue le compte-rendu du prof. Wyssling relativement aux tarifs des usines électriques de Suisse est fort explicatif [1]. Il en ressort que les usines électriques suisses fournissent l'électricité pour le chauffage à toutes sortes de prix, depuis les prix pour l'éclairage (jusqu'à 80 cents par kw-heure) — lequel prix, comme le fait remarquer le prof. Wyssling, agit directement prohibitivement sur l'emploi de la cuisson électrique sur une grande échelle — jusqu'à 7 cents et au-dessous.

En général néanmois les usines électriques d'Europe four-

---

(1) WYSSLING, *Die Tarife Schweizerischer Electricitätswerke für den Verkauf elektrischer Energie.*



nissent surtout de l'énergie électrique pour le chauffage au même prix que l'énergie motrice, c.-à-d. à environ 12-20 Pf. par kw-heure.

Comme il ressort de ce qui a été dit ci-dessus, ce prix, comparé aux frais de la cuisson au gaz, est bien élevé pour permettre un passage général à la cuisson à l'électricité. Pour cela il faudrait sûrement que le prix de l'énergie se tienne dans les environs de 7 à 14 Pf. par kw-heure.

Les usines électriques peuvent-elles en général avec bénéfice livrer l'énergie à ce prix? A cette question il ne peut guère sans plus être répondu par un oui. Les ustensiles de cuisson employés maintenant généralement exigent du moins en partie un effet assez considérable pendant un court espace de temps, ce qui, du point de vue des usines électriques est le signe distinctif du mauvais abonné. Si l'on prend une famille de 4 personnes, celle-ci devrait, d'après le calcul ci-dessus de Ritter, consommer environ 800 kw-heures par an pour la cuisson à l'électricité, etc. La charge maxima se monte certainement, si l'on ne prend point de précautions spéciales, à 2-3 kw. Le temps moyen d'emploi par kw. sera donc de 270-400 heures par an, un chiffre pas brillant qui ne justifie point un tarif extrêmement bas, surtout si l'on songe qu'il est dans la nature des choses que les charges maxima des divers abonnés tomberont presque simultanément et cela en outre probablement au moment de la plus grande consommation pour l'éclairage.

La façon la plus simple pour éviter cette difficulté serait d'employer un tarif double pour l'énergie électrique servant à cet usage. Dans ces cas on peut pendant les heures du tarif bas (c.-à-d. en dehors des heures d'éclairage) fournir l'énergie à un prix très bas, qui ne dépasse que de peu les frais d'exploitation variables, et il ne doit pas être difficile d'y mettre un prix permettant une concurrence victorieuse avec les fourneaux à gaz, surtout bien entendu pour les usines électriques actionnées par l'eau.

Un inconvénient pour les abonnés avec ce système est naturellement qu'ils sont obligés de limiter l'emploi, du moins des grands appareils de cuisson, aux heures de bas tarif, ce qui peut dans une certaine mesure être incommode. Cependant cela n'est probablement pas si difficile que l'on pense, car avec un peu de jugement la chose doit généralement pouvoir se faire et si l'abonné devait parfois payer le prix d'éclairage pour de l'énergie

électrique ayant servi à la cuisson, cela ne pourra guère influer sensiblement sur le prix du courant pour toute l'année.

On peut objecter que les usines d'électricité doivent être sûres que les abonnés n'emploient pas leur courant de chauffage pendant les heures d'éclairage et qu'il faudrait prendre des mesures pour l'empêcher. Je crois néanmoins que ce serait là une bien grande incommodité pour les abonnés et je ne pense pas non plus que cela soit nécessaire. Car la différence des prix du tarif élevé et du tarif bas doit être supposée être très considérable. Il est évident alors que l'emploi des grands appareils de chauffage pendant les heures d'éclairage n'aura lieu qu'exceptionnellement et il est alors peu probable que ces charges occasionnelles viendraient en nombre considérable s'ajouter à celle exigée par l'éclairage.

La méthode du tarif double a aussi cet avantage qu'on n'a pas besoin de faire attention aux appareils de chauffage en calculant les dimensions du réseau de distribution, ce qui, dans le cas contraire, pourrait être une pierre d'achoppement.

En réalité aussi cette méthode a eté adoptée dans plusieurs usines électriques, p. ex. en Suisse (1) et aussi en Suède.

Une méthode toute différente a été essayée en Amérique par " Hartford Electric Light Company „ et son président A. C. Dunham (2). Cet essai avait pour objet de remplacer les appareils de cuisson ordinaires par une sorte de " bouillers sans feu „, demandant un effet relativement faible, mais devant être employés pendant un espace de temps plus long. Les appareils de cuisson consistent en récipients clos, isolant bien la chaleur, avec des lames de chauffage à l'intérieur. La compagnie fabrique 2 types, un à 100 watts et un à 50 watts. Les essais ont prouvé que dans le premier se produit une température constante de 211° C., laquelle température est suffisante pour rôtir n'importe quelle viande et pour faire le pain. Certaines opérations de cuisson et de rôtissage demandent un temps relativement long, mais ces opérations devront être faites pendant la nuit. On calcule, que 2 appareils de ce genre doivent suffire pour toute la cuisine pour 3-5 personnes.

La Compagnie a l'intention de fournir de l'énergie pour 2 ap-

---

(1) Wyssling, loc. cit.
(2) " El. World „, vol. 57, pag. 45 et 46.

pareils de ce genre de 150 watts en tout pour un prix forfaitaire (“ Pauschaltariff „) de 3 dollars (environ frs. 15,75) par mois. Même si les appareils sont employés pendant les 24 heures de la journée, la compagnie aurait tout de même un revenu de 3 cents (15,75 centimes) par kw-heure, ce qui est plus que suffisant pour une consommation de cette durée. En réalité les appareils ne seront jamais l'objet d'un emploi aussi intensif, et alors le revenu par kw-heure augmente dans la même mesure.

La place me manque pour décrire plus au long les essais intéressants faits avec ces appareils, lesquels essais paraissent pleins de promesses, attendu qu'ils font prévoir la possibilité de fournir de l'énergie électrique pour la cuisine à des prix acceptables pour les usines électriques et à des conditions telles que même les personnes ayant des revenus modestes pourront s'en servir, grâce aussi à la construction simple et bon marché des appareils nécessaires.

Panation électrique.

Il peut être bon de dire quelques mots de la panation électrique en particulier. Celle-ci n'a pas encore, je pense, été pratiquée dans une mesure notable, bien que les conditions promettent de bons résultats, en grande partie pour cette raison que la panation (du moins lorsqu'il s'agit de pain pour la vente) se fait surtout pendant la nuit, ce qui est un grand avantage pour les usines électriques. Au point de vue technique la panation électrique a évidemment divers avantages sur tous les autres systèmes, entre autres la facilité de régler la température et de la maintenir juste au degré nécessaire. Pour ce qui est du coût du courant, M. Goisot dit (loc. cit.) que la consommation d'énergie est d'environ 500 watts-heures par kg. de pain et qu'on pourrait payer un prix jusqu'à 10 cents par kw-heure.

Le Dr. Ekström, directeur de l' usine électrique “ Hemsjö Kraftaktiebolag „ en Suède, a fait quelques essais de panation électrique qui méritent d'être cités. Il a, au cours de ces essais, trouvé que la meilleure méthode était de chauffer d'abord le four à une température de 150°-300° C. selon l'espèce de pain qu'on a en vue et aussi dans une certaine mesure selon la taille de la fournée et ensuite d'introduire le pain et d'interrompre le courant. La température baisse évidemment alors successi-

vement, mais, si la température initiale est bien choisie, le pain doit néanmoins être entièrement cuit au bout d'un certain espace de temps, facile à déterminer après quelque expérience. Cette méthode avec une haute température initiale, qui petit à petit baisse au fur et à mesure de la cuisson, parait être très avantageuse pour donner un pain de bonne qualité. Pendant les essais on se servit d'un interrupteur de courant automatique communiquant avec un thermomètre à contact et qui pouvait être réglé pour une chaleur d'un certain degré. Lorsque le degré de chaleur désiré était atteint le courant est interrompu et une sonnette signale que le pain doit être enfourné. De cette façon on évite toute perte de courant et l'on obtient une grande précision dans le travail. Il n'a pas été fait d'observations relativement à la consommation d'énergie par kg. de pain, mais les frais de courant électrique au prix de 10 öre (1 öre = 1,39 cents) ne s'élevèrent pas tout-à-fait à la moitié de la valeur des ingrédients mêmes du pain.

Chauffage de l'eau.

Pour chauffer de l'eau employée au lavage de la vaisselle, pour les lavabos, etc., on peut souvent se servir avec avantage de dispositifs automatiques. Dans un récipient à eau bien isolé on dispose une résistance qui est mise en circuit ou hors de circuit par un relais communiquant avec un thermomètre à contact dans le récipient à eau, de sorte que l'eau est automatiquement maintenue à une certaine température. Comme la température de l'eau dans un récipient ainsi isolé ne baisse que lentement si elle est abandonnée à elle-même, un dispositif de ce genre peut très bien servir, même si l'on applique le double tarif au courant de façon à empêcher l'usage du courant pendant certaines heures.

Pour chauffer l'eau des bains, etc., on pourrait évidemment employer un dispositif semblable. Pour cela il faut cependant des quantités relativement considérables d'énergie électrique — pour un bain il est consommé généralement environ 10 kw-heures — par suite de quoi le prix du courant doit être très bas pour que le chauffage ne revienne pas trop cher. Cet emploi du chauffage électrique ne peut donc généralement être pratiqué qu'avec

les usines électriques, actionnées par l'eau, et, même dans ce cas seulement, sous certaines conditions, avant tout celle que l'énergie ne soit mise à contribution que pendant les heures de la journée où elle ne sert à d'autres usages que dans une restreinte.

Autres usages domestiques.

Outre le chauffage électrique en vue de la cuisson et de la préparation de l'eau chaude, on peut dans la vie domestique s'en servir à des usages très divers, p. ex., pour allumer les cigares, pour chauffer les lits, pour les fers à repasser, etc. Comme ces divers usages n'exigent en général que des quantités d'énergie peu considérables, les appareils de ce genre sont devenus fort populaires. Surtout les fers à repasser électriques s'emploient en un grand nombre d'endroits en grande quantité. Ceux-là aussi exigent pourtant des prix très bas pour l'énergie électrique pour pouvoir être avantageusement employés sur une plus grande échelle. M. Goisot (loc. cit.) donne, par exemple, les chiffres suivants se rapportant à une blanchisserie des environs de Paris. Le prix du courant était de 16 cents par kw-heure et chaque fer à repasser consommait 900 watts. Le coût du courant pour 40 fers à repasser fut alors, avec une journée de travail, de 8 $^1/_2$ heures, 49 frs par jour. En se servant de fourneaux au coke en revanche le coût du combustible consommé ne s'élevait qu'à 5 frs par jour. Vu les avantages offerts par les fers à repasser électriques on fut néanmoins d'avis qu'on pourrait payer 3 fois autant que pour les fers chauffés au coke, soit 15 frs, ce qui correspond à un prix de courant électrique de 5 cents par kw-heure. Comme le fait remarquer M. Goisot la consommation d'énergie citée de 900 watts par fer à repasser semble néanmoins trop élevée, et 600 watts doivent probablement suffire. En ce cas le prix que l'on peut payer sera de 7,5 cents par kw-heure, ce qui, vu la longue durée de la consommation, peut être un prix acceptable même avec une centrale électrique à vapeur. Dans une centrale hydraulique il pourrait en général même être profitable de vendre l'énergie à un prix forfaitaire de 125 frs par kw, et par an, ce qui, avec le temps de consommation ci-dessus cité, correspond à un prix de 5 kw-heures.

Le chauffage des appartements.

Un des problèmes les plus ardus eu égard aux frais d'exploitation, mais aussi des plus intéressants, relativement au chauffage électrique, est la question du chauffage des appartements à l'électricité. Jusqu'à présent il a en général été considéré comme un axiome que le chauffage électrique des appartements ne peut être usité avec avantage que dans des cas très exceptionnels, sauf pour des usages tout-à-fait spéciaux, comme p. ex. pour compléter un calorifère ou le remplacer pendant les époques de transition, en automne et au printemps, etc. Il me semble néanmoins que ce point de vue est trop pessimiste. Sans doute le chauffage électrique des appartements ne peut guère être employé dans une grande mesure, sauf là où l'énergie électrique est prise à une chûte d'eau, mais dans ces cas il devrait, sous certaines conditions, trouver un emploi plus considérable que l'on n'imagine tout d'abord.

Tout dépend naturellement de ce que cela coûtera, et pour réduire les frais dans la mesure du possible il doit être absolument nécessaire de prendre quelques mesures spéciales.

Le Dr. Ekström, cité plus haut, a fait quelques essais à ce sujet, essais qui me semblent avoir un intérêt si considérable, qu'ils méritent bien d'être rapportés. Au cours des essais, entrepris avec une chambre assez grande, disposée à cet effet (environ 65 m^3), dans la villa du Dr. Ekström à Saltsjöbaden près de Stockholm, on se servit d'un dispositif inventé et breveté par le Dr. Ekström et consistant en ceci, que les éléments calorifiques de la chambre étaient reliés à un interrupteur commandé par un relais communiquant avec un thermomètre à contact. Ce dernier consistait tout simplement en un thermomètre à mercure ordinaire avec un fil de contact encastré dans le verre à, p. ex., 16°, et un autre fil encastré dans le verre près de l'ampoule du thermomètre. Dès que la température baissait sensiblement au-dessous de 16° C., le circuit du relais était interrompu et l'interrupteur des éléments calorifiques était accouplé. Lorsque la colonne de mercure montait de nouveau à 16°, le circuit du relais était fermé et l'interrupteur principal était accouplé. De cette façon la température de la chambre était, pratiquement parlant, constante à 16°, et seulement la quantité précise de chaleur nécessaire pour maintenir cette température devait être

produite. La méthode elle-même de maintenir une température constante n'est pas, à proprement parler, inconnue, mais son application est, autant que je sache, nouvelle.

Aux essais il fut constaté, que pour le chauffage du laboratoire pendant une année entière il fallait environ 2400 kw-heures (La température moyenne de l'année à Stockholm est d'un peu moins de + 6° C.). Calculé pour toute la villa, eu égard à la grandeur des murs extérieurs, à la situation des chambres, et autres circonstances, le résultat fut que pour le chauffage de celle-ci il faudrait environ 40.000 kw-heures par an.

Le chauffage normal de la villa se fait par un calorifère ordinaire avec eau chaude, et pour cela il est consommé 600 hl. de coke de gaz par an, ce qui, avec un prix de 1,25 cour. (1,74 frs) par hl., correspond à un coût total de 750 cour. (1.040 frs). A ne considérer par conséquent que le coût du combustible, l'énergie pourrait être payée au prix de pas tout-à-fait 2 öre (2,78 cents) par kw-heure.

En réalité, néanmoins, diverses circonstances viennent s'ajouter en faveur du système électrique, comme le fait ressortir le Dr. Ekström. Et d'abord les personnes habitant les chambres émettent une quantité de chaleur notable (env. 100 calories par personne et par heure), laquelle est entièrement mise à profit par le système automatique, contrairement à ce qui a lieu avec le chauffage ordinaire. En outre il est clair que la température normale de 16°, p. ex., n'est pas nécessaire constamment dans toutes les chambres. Dans les salons, p. ex., la température peut, pendant la nuit, être maintenue beaucoup plus basse, p. ex. à 12°, les chambres à coucher en revanche peuvent être maintenues à une température plus basse pendant la journée. Ceci est très facile à exécuter avec le système décrit, en munissant le relais d'un commutateur à deux contacts différents dans le thermomètre. Lorsque l'on quitte les salons au soir, on met le commutateur au degré inférieur; pendant le nettoyage au matin on met de nouveau le commutateur à la température normale, qui au bout d'un court espace de temps est atteinte. De cette façon on peut économiser des quantités considérables d'énergie. Enfin, grâce au système automatique, on tire complètement parti de la chaleur dégagée par l'éclairage. En se fondant sur ces considérations le Dr. Ekström calcule que la consommation d'énergie nécessaire dans le cas cité peut être abaissée à près de 26.000 kw-heures.

En les comparant aux frais d'exploitation d'un calorifère ordinaire il faut néanmoins aussi avoir égard à ce qu'une installation de ce genre est beaucoup plus coûteuse qu'une installation électrique, par suite de quoi les dépenses annuelles pour couvrir les intérêts, l'amortissement et l'entretien du premier sont plus élevées, puis à ce que les soins à donner au calorifère demandent plus de travail et qu'il faut le ramoner et le nettoyer, que la chaudière du calorifère exige une place assez considérable avec des frais correspondants, etc.

Eu égard à toutes ces circonstances le Dr. Ekström arrive à ce résultat que, dans le cas étudié, une villa tenant environ 2200 m³ et ayant 600 m² de cloisons extérieures, peut payer pour l'énergie électrique destinée au chauffage un prix d'environ 5 öre (= 6,95 cents) par kw-heure, sans que les frais se trouvent être plus élevés qu'avec un calorifère ordinaire. La consommation de force maxima (par — 20° C de température extérieure) est d'environ 16 kw. et l'énergie nécessaire d'environ 26.000 kw-heures par an.

Il y a lieu d'observer que si l'on compare les chiffres ci-dessus relatifs au besoin de calorique du bâtiment (sans réductions, c.-à-d. 40.000 kw-heures = environ 35 mill. de calories) avec la consommation véritable en coke, on arrive à un effet moyen pour le calorifère de seulement 20 %. Ce chiffre paraît extrêmement bas en comparaison de ce qu'on a l'habitude de mettre en ligne de compte, mais peut sans doute s'expliquer par diverses circonstances, telles que celle-ci que la chaudière, qui d'ordinaire se trouve dans la cave, donne toujours une certaine chaleur à celle-ci, chaleur qui pour la plus grande partie se perd sans profit, puisque le chauffage d'une chaudière de ce genre en règle générale se fait sans grand soin et sans expérience et enfin qu'il est extrêmement difficile de régler le chauffage selon le besoin, par suite de quoi souvent de grandes quantités de chaleur sont perdues.

Les résultats trouvés par le Dr. Ekström doivent naturellement être vérifiés par des expériences sur une grande échelle, mais ils forment néanmoins une base d'étude fort intéressante. Deux grandes installations d'après ce système sont en ce moment en cours d'exécution et il sera intéressant de voir le résultat de ces essais.

On peut maintenant se poser la question si les sociétés de production de l'énergie électrique en général sont enclines à

vendre de l'énergie pour cet usage pour un prix de 5 öre (6,95 cents) par kw-heure. Il semble néanmoins que cela devrait être le cas. Dans le cas ci-dessus relaté le temps d'usage moyen par kw. max. sera d'environ 1600 heures par an, ce qui donne un prix annuel par max. kw. d'environ 80 cour. (111 frs), ce qui dans beaucoup de cas doit être un prix convenable. En outre on doit pouvoir compter avec ce fait que si un nombre assez considérable d'abonnés se présentent, une compensation doit se produire, par suite de laquelle le temps d'usage moyen devient un peu plus grand.

Le système automatique décrit a certainement de grands avantages, mais il a l'inconvénient, que la consommation d'énergie ne se laisse guère limiter à certaines heures de la journée, ce qui est parfois nécessaire pour obtenir une énergie à bon marché. Dans ce cas il faut avoir recours à d'autres moyens. Depuis longtemps — on a pratiqué ainsi en Suède — et je crois ailleurs — que si un abonné loue à une usine d'électricité hydraulique de l'énergie électrique pour un prix déterminé par chev. et par an, une forme de tarif très usitée dans ce cas, et s'il n'en a pas l'emploi, p. ex. la nuit, au lieu de cela il met dans le circuit des éléments caloriques pour une somme d'effet correspondante. Il a évidemment alors l'énergie pour ceux-ci gratuitement. Je puis aussi ajouter, qu'il y a quelques années de cela, lorsque j'étais chef d'une petite usine électrique en Suède, je nourrissais le projet de chercher à introduire le chauffage électrique dans une plus grande mesure dans la ville, où la Compagnie avait la plus grande partie de la vente de son énergie. La Compagnie disposait d'une usine hydraulique sans aucun moyen de réglage et l'énergie s'employait presque uniquement pour l'eclairage, l'eau s'écoulait pendant la plus grande partie de la journée sans aucun profit. Mon projet était de vendre de l'énergie pour le chauffage à un prix forfaitaire très bas à condition que l'énergie ne pourrait être employée pendant les heures d'éclairage. Dans ce but on se serait servi d'un commutateur en combinaison avec un mécanisme d'horloge chez les abonnés, disposé de telle façon que le courant serait coupé ou rétabli à des heures déterminées à volonté. Par suite de certaines circonstances, entre autres la difficulté de trouver des mécanismes d'horloge appropriés (les compteurs de tarif double, etc., n'étaient pas encore en vente à ce moment), le projet fut néanmoins abandonné.

Il est cependant évident que cette façon d'arranger la chose

n'est pas satisfaisante, car le courant devant pendant un long espace de temps rester interrompu, et les éléments caloriques électriques ordinaires ne pouvant emmagasiner de la chaleur en quantité notable, la température des chambres d'habitation devra pendant les temps froids baisser considérablement pendant les heures où le courant sera coupé, à moins qu'une autre source de chaleur ne soit usitée. Il est donc nécessaire d'emmagasiner la chaleur d'une façon ou d'une autre.

Le moyen qui se présente d'abord est de se servir pour cela de l'eau et en réalité cela se laisse faire de plusieurs façons. Le bureau consultant, Elektriska Pröfningsanstalten à Stockholm, dont je suis un membre, a, il y a quelque temps de cela, fait une étude d'un cas semblable. Il s'agissait d'un établissement industriel assez considérable, qui avait fait avec une usine hydraulique un contrat de fourniture de 1500 chev. él. pendant les 24 heures de la journée. Cependant on n'avait pas besoin pendant la nuit de toute cette somme d'énergie, mais seulement de 800 chev. él. Une étude de la question montra que la somme d'énergie en excès, soit 700 chev. él., suffisait pour couvrir tout le besoin de chaleur de l'établissement pendant la journée. Dans ce but il fallait une citerne d'eau d'environ 40 m^3 de contenance, dans laquelle l'eau, pendant la nuit, était réchauffée à environ 95° C. La déperdition de chaleur dans une citerne de ce genre est, si elle est suffisamment isolée, extrêmement minime. Le système avait pour but d'agir automatiquement au point de vue du chauffage de l'eau et de son alimentation en eau, selon un système imaginé par mon collaborateur le Dr. Ruths. L'installation n'a pas cependant été exécutée, attendu que les frais pour les éléments caloriques avec conduits, etc., furent trouvés trop élevés. Néanmoins il est hors de doute qu'une installation de ce genre pourrait en beaucoup d'endroits être établie avec avantage.

Pour les maisons d'habitation et les appartements ordinaires, etc., ce système serait néanmoins trop compliqué et trop coûteux. Pour ces cas un autre système a été imaginé par Mr. G. Sundén de Göteborg, ingénieur dans la Soc. d'électricité " Nya Förenade Elektriska Aktiebolaget ", à Ludvika, Suède. Il se sert pour emmagasiner la chaleur de fours ou poêles de pierre ollaire dans lesquels sont disposés les éléments de résistance. Le four est fait de plusieurs parties concentriques, séparées par des cloisons isolantes et l'élément calorique est disposé

dans la partie intérieure. De cette façon le transport de la chaleur vers les parties extérieures du four se fait très lentement, ce qui a pour résultat, que la température de la partie intérieure peut, pendant la période de chauffage, être élevée à environ 250° C., sans que la température extérieure dépasse 100°. Avec un four de ce genre, pesant environ 550 kg., dont la consommation d'énergie est d'environ 1,75 kw. et la capacité calorique d'environ 40.000 calories, le constructeur a fait un certain nombre d'essais intéressants qui méritent d'être cités, dans un appartement consistant de 4 chambres et 1 cuisine. Cet appartement avait précédemment été principalement chauffé par un poêle ordinaire, placé dans l'antichambre et chauffé nuit et jour (avec de l'anthracite et du coke). Parfois néanmoins il fallait faire du feu dans une des cheminées des chambres, mais pas chaque jour. Ce poêle fut éteint et à sa place on mit dans le circuit électrique le poêle électrique qui n'était en activité que la nuit. Les chambres autour de l'antichambre, chauffées de cette façon, cubaient environ 400 m^3. Le poêle resta dans le circuit environ 10 heures par journée. La consommation d'énergie du 1er janvier au 24 avril (à laquelle date le chauffage cessa) était de 1400 kw-heures, dont la consommation par année entière est évaluée à environ 3500 kw-heures. En comparant avec le coût du chauffage précédent au charbon il fut constaté, que le courant pouvait être payé un prix de 2 öre (2,78 cents) par kw-heure.

Il peut sembler que ce prix est extrêmement bas, mais on doit se rappeler qu'il s'agit là dans nos suppositions d'une énergie en excès dont on n'avait pas l'emploi sous une autre forme. C'est aussi le cas dans une grande mesure à Göteborg. La ville achète de l'énergie aux grandes usines hydrauliques de l'État à Trollhättan et paye pour cela d'abord un prix déterminé par kw. max. pris à l'usine et par an, puis en outre une licence de consommation par kw-heure consommé, mais qui n'est que de 0,5 öre. L'énergie sert principalement à des usages industriels et le besoin d'énergie est incomparablement plus grand pendant le jour que pendant la nuit. L'énergie, que l'on peut vendre pendant la nuit, ne coûte donc à la ville en réalité que 0,5 öre par kw-heure, si l'on ne tient pas compte des déperditions de transport et de transformation, et la ville peut par conséquent réellement vendre du courant électrique pendant la nuit avec un bénéfice notable au prix de 2 öre par kw-heure. Le directeur

de l'usine électrique de la ville, l'ingénieur Hammarstrand, a raconté qu'il nourrit sérieusement le projet de vendre de l'énergie électrique à ces conditions et pour cet usage, et ce qui l'en a empêché jusqu'à présent, ce sont en somme uniquement des considérations relatives au réseau de distribution et surtout aux canalisations intérieures. Il est en effet probable que ceux-ci ne seraient pas suffisants pour une augmentation aussi considérable de la charge, qui serait la conséquence d'un passage un peu général au chauffage par l'électricité, même si l'on tolérait de nuit, lorsque l'éclairage est moindre, une tension plus forte. Cela est évidemment un obstacle. Néanmoins il ne semble pas qu'il y ait des difficultés insurmontables pour écarter cet obstacle.

Un certain nombre de poêles électriques de la construction ci-dessus ont été installés dans les fabriques, etc., où les conditions sont analogues, et tout semble promettre que ces poêles auront une mission importante à remplir pour faciliter l'emploi de l'électricité aussi pour le chauffage des habitations.

Parmi les autres cas, où le chauffage électrique des habitations doit spécialement être employé, on peut citer le chauffage des églises, ceci pour cette raison qu'elles servent principalement à des heures de la journée où la consommation de l'énergie électrique est par ailleurs minime. De ces installations on en trouve un certain nombre, entre autres en Suisse et en Suède.

Quelques autres emplois du chauffage à l'électricité.

En outre des applications susdites du chauffage à l'électricité, qui se rapportent surtout aux usages domestiques, il y a de nombreuses formes d'emploi de nature plus spéciale. Dénombrer et décrire toutes ces diverses formes nous mènerait trop loin et il doit suffire de relater quelques-unes des plus importantes.

Parmi celles-ci il faut sans nul doute compter l'emploi de l'électricité pour le chauffage dans les *laboratoires*, comme pour les petits fourneaux, les étuves, les moufles, etc. Ici cette méthode de chauffage a, par suite de sa propreté, sa sécurité et sa facilité de se laisser régler ainsi que la possibilité de distri-

bution automatique pour obtenir une température constante, de si grands avantages que les frais en comparaison ne jouent souvent aucun rôle.

En outre il faut faire remarquer l'emploi du chauffage à l'électricité pour des *usages médicaux*, principalement pour la stérilisation des instruments et la galvanocaustique. Les appareils à cet effet exigent en général une assez grande énergie, mais seulement quelques volts de tension. Là où l'on se sert de courants alternatifs on peut par conséquent se servir de petits transformateurs pour ces appareils, lesquels transformateurs peuvent facilement être rendus réglables pour obtenir des effets caloriques divers.

Dans cette catégorie d'usages on peut également compter les compresses chauffées à l'électricité, dans lesquelles on obtient évidemment une température très égale, puis les petits fourneaux qu'emploient les médecins dentistes et qui sont devenus très populaires.

Si de là nous passons à l'emploi du chauffage électrique dans l'*industrie*, les occasions en sont si nombreuses et si diverses que l'on peut dire, non sans raison, qu'il n'y a presque aucune branche de l'industrie où le chauffage à l'électricité ne pourrait sous une forme quelconque être utile. Ici nous ne pouvons donner que quelques indications à ce sujet. Nous passons entièrement sous silence les fours de fusion électrique, qui ont droit à un chapitre spécial. Le soudage ainsi que la trempe à l'électricité, qui sont devenus d'un usage de plus en plus fréquent dans ces derniers temps, ne seront nommés qu'en peu de mots. On s'en sert assez généralement pour le soudage à l'électricité sous des formes diverses, pour la fusion de diverses matières facilement fusibles, telles que la colle forte, la cire à cacheter, la cire naturelle, l'étain, le plomb, etc., le séchage de divers objets dans les fours électriques, etc. Un emploi qui vaut la peine d'être cité est le chauffage des cylindres de presse, etc. par l'électricité. Je puis citer en exemple qu'une grande fabrique de porcelaine dans les environs de Stockholm, depuis un grand nombre d'années réchauffe ses cylindres pour l'impression en couleurs à l'électricité au lieu de la faire à la vapeur comme précédemment, et qu'elle est fort satisfaite du résultat. Chaque cylindre exige ici environ 450 watts.

Un emploi assez original du chauffage électrique est celui qu'en a fait Mr. F. H. Soden à Chicago, savoir de faire fondre

la glace dans les conduites d'eau gelées [1]. Le courant pris à un transformateur à tension basse, était dirigé à travers les conduites d'eau, et au bout d'un court moment l'eau se remettait de nouveau à couler.

Un autre usage, qui somme toute n'est pas de nature industrielle, doit néanmoins être cité ici, savoir le chauffage électrique des couveuses. Cette méthode de chauffage convient extrêmement bien à cet usage. Dans la fabrique de porcelaine citée déjà, qui a aussi une exploitation agricole sur une grande échelle, on emploie des couveuses de ce genre sur une grande échelle. La " nursery „ où les poussins sont amenés après l'éclosion est également chauffée à l'électricité. La consommation d'énergie d'une couveuse pour 100 œufs est au commencement d'environ 180 watts et descend successivement à environ 105 watts (M. Goisot donne pour un appareil de cette sorte 130-210 watts, par conséquent un chiffre assez conforme aux précédents). La consommation d'énergie pendant une période d'éclosion (environ 21 jours) est d'environ 72 kw-heures, correspondant, si l'on obtient 80 poussins, à environ 0,9 kw-heure par pièce. La consommation d'effet des " nurseries „ est d'env. 265 watts.

Enfin je veux en peu de mots parler du chauffage électrique des chaudières. Il n'est guère probable qu'on puisse s'attendre à un emploi bien généralisé de ce chauffage, mais dans des cas spéciaux il y a certains points de vue par lesquels il se recommande, savoir le cas où il est nécessaire de garder des chaudières sous pression dans une station de réserve pour une usine hydraulique afin de pouvoir en cas de besoin rapidement mettre les machines à vapeur en marche. Le Dr. Ekström cidessus et l'ingénieur A. Tengvall ont fait breveter un dispositif caractérisé par ceci que l'élément calorique de la chaudière est combiné avec un relais et un manomètre à contact, de telle sorte que la pression désirée peut être obtenue automatiquement. Les calculs établis ont démontré que pour maintenir une chaudière tubulaire de 80 m² de surface de chauffe, immurée de façon habituelle, sous une pression de 1 atm., il faudrait au maximum 16 kw. environ. Évidemment ce chiffre, vu l'incertitude des coefficients avec lesquels on calcule, est fort sujet à caution. Il faut faire observer que dans une centrale

---

[1] " Elektrot. Zeitschr. „, 1899, H. 14.



d'éclairage, dont il est généralement question dans ce cas, il serait facile de disposer les choses de telle façon, qu'immédiatement avant le commencement de la période d'éclairage on relèverait la pression un peu au-dessus de la pression normale, par suite de quoi on pourrait, pendant le nombre d'heures relativement limité que dure l'éclairage, sortir l'élément de la chaudière à vapeur, entièrement hors de circuit pour n'avoir pas à en surcharger l'usine hydraulique, sans que la pression eût à baisser pour cela au-dessous de celle employée normalement. Des essais avec ce dispositif sont en cours.



Dans ce qui a été dit ci-dessus les formes les plus importantes de l'emploi du chauffage à l'électricité ont été énumérées, bien que je ne puisse tout naturellement avoir la prétention de les avoir traitées à fond. Je n'ai pas pensé devoir donner des descriptions des installations exécutées, attendu que cela aurait demandé trop de place. En revanche j'ai cherché à faire ressortir les points de vue relatifs à leurs principes. Si pour finir j'avais à exprimer un avis au sujet des perspectives d'avenir pour un emploi plus général du chauffage électrique, je dirais que surtout pour les usages domestiques les chances ne sont pas mauvaises, mais qu'il est nécessaire de travailler encore à la solution des problèmes afférents, avant qu'on atteigne un résultat satisfaisant au point de vue de l'électrotechnique. Il ne suffit pas qu'il y ait des appareils de cuisson faciles à manier, durables et bon marché, etc., il faut encore que les prix de l'énergie électrique soient tels que les frais de leur emploi ne deviennent pas trop élevés. Pour que les usines électriques puissent à ce point de vue mieux satisfaire les consommateurs, il est néanmoins nécessaire que les abonnés de leur côté s'arrangent de telle façon qu'ils ne soient pas pour les usines d'électricité ce qu'on appelle de mauvais abonnés, c.-à-d. qu'ils ne surchargent pas les usines d'électricité pendant les heures défavorables sans consommer la somme d'énergie correspondante. Les diverses solutions qu'on peut imaginer à cet effet: livraison du courant d'après un tarif double, construction d'appareils avec une consommation d'énergie spécialement réduite mais continue, accumulation de l'énergie sous forme de chaleur pendant les heures de charge réduite, etc.,

ont été indiquées précédemment. Mais il y aurait certainement pas mal à faire encore dans cet ordre d'idées. Enfin, et ce n'est pas le point le moins important, il faut un travail d'enseignement énergique et rationnel en vue de vaincre les préjugés et les idées erronées ainsi que la répugnance envers toutes les nouveautés, qui se fait sentir aussi relativement à ces innovations.

DISCUSSION

M. G. MENGARINI (Rome) *demande à M. Rossander quels sont à son avis les appareils qui offrent le plus d'avantages pratiques: ceux à fort rendement calorifique, à moindre surface et à haute température, ou ceux à grande surface et à faible température.*

M. C. A. ROSSANDER (Stockholm). — *Pour le chauffage des appartements, les appareils à grande surface, qui donnent une chaleur agréable, sont en général à préférer; on peut les mettre à distance convenable des murs et éviter ainsi les pertes qui se produisent au travers de ceux-ci. Les tapis de M. Herrgott, par exemple, sont des appareils de ce genre: mais M. Rossander sait que plusieurs autres que M. Herrgott ont réalisé des appareils analogues. Pour la cuisine, les expériences américaines mentionnées dans le rapport semblent donner de bons résultats, obtenus, d'ailleurs, avec des appareils de petites dimensions.*

M. G. MENGARINI (Rome) *note que les appareils pour chauffage électrique doivent être à basse température. Il voudrait même qu'on ne depassât jamais 150° dans les appartements afin d'être sûrement garanti contre la combustion des poussières organiques.*

A ce propos il déclare sa préférance pour les appareils de chauffage électrique munis de ventilateurs, car ils augmentent par ce dispositif l'effet convectif de l'air, et celui-ci chauffant moins par unité de volume, l'air ambient se trouve dans des conditions hygiéniques meilleures.

L'orateur demande enfin si le rapporteur peut dire de quelle matière sont composés les conducteurs des appareils Herrgott.

M. C. A. ROSSANDEB (Stockholm) *ne le sait pas; il suppose qu'il s'agit d'alliages: le rapport de M. Herrgott semble le dire.*

M. F. DANIONI (Venise) *demande à M. Rossander s'il connaît les appareils de chauffage utilisant l'énergie électrique pour les industries qui emploient l'eau chaude en grande quantité. M. Danioni indique les appareils construits par l'Ing. Ponzini, que plusieurs établissements industriels ont installés pour utiliser l'énergie disponible pendant la nuit.*

M. C. A. ROSSANDER *renvoie à son Rapport: il en lit d'ailleurs les passages relatifs aux appareils qui emmagasinent la chaleur. Il regrette de ne point connaître les appareils de l'Ing. Ponzini.*

M. R. A. SWINGEDAUW (Lille-France) *signale les heureux effets des appareils qui purifient l'air respirable, dans les cas surtout où l'aération se fait de l'extérieur, et même lorsque les appareils sont installés dans les parties supérieures des locaux. De tels appareils répondent parfaitement aux exigences spéciales de certains locaux qui demandent à être rapidement chauffés, résultat qu'on obtient à merveille au moyen d'appareils à haute température et de ventilateurs.*

M. C. A. ROSSANDER (Stockholm) *convient que les conditions différentes justifient l'emploi d'appareils de divers genres.*

M. G. MENGARINI (Rome) *remercie pour l'intéressante communication; il souhaite que les études que l'on fera encore sur ce sujet soient communiquées à la A. E. I. qui sera heureuse de les publier dans ses Actes.*

Le développement récent des lampes à incandescence au tungstène.

Dr. Ing. Berthold Monasch (Augsburg).

Les avantages de l'éclairage électrique à incandescence sont tels qu'ils ne se prêtent pas à une évaluation absolue en chiffres. Sauf le rendement des lampes qui peut être calculé très exactement, l'éclairage des lampes à incandescence présente des avantages tels que l'absence de la production de gaz qui puissent élever la température de l'air ambiant ou le détériorer, la lumière immédiate après la mise du courant et la mobilité des sources de lumière en certaines limites; ces avantages sont plutôt accessoires et leur évaluation dépend de l'appréciation personnelle qu'on leur attribue. Le rendement même des lampes à incandescence présente pour le consommateur d'électricité un facteur de dépenses en argent. Il est donc naturel qu'on ait cherché à diminuer les dépenses nécessaires pour produire un certain éclairage ou un certain flux de lumière.

La première lampe à incandescence a fait son apparition sur le marché en Europe en 1881 à l'occasion de l'Exposition Internationale d'Electricité de Paris. Cette lampe, qui était exposée dans le pavillon d'Edison, avait comme corps rayonnant un filament de charbon; elle coûtait environ 12 francs, consommait environ 5 watt par bougie et durait 300 heures. En donnant une plus grande homogénéité au filament de charbon on réussit à améliorer le rendement des lampes à 3,5 watt, et à prolonger la durée des lampes à 500 heures. La vive concur-

rence et les perfectionnements de l'outillage conduisaient à abaisser le prix de vente des lampes à filament de charbon à environ 1 franc. Tel était l'état de l'industrie vers la fin du dernier siècle. En 1897 le professeur Nernst construisit la lampe à oxyde métallique, qui fut caractérisée par une consommation initiale de 1,5 watt par bougie, qui montait après 200 heures à 2,06 watt par bougie et après une durée de 500 heures à 3,51 watt par bougie. Aujourd'hui la lampe Nernst appartient entièrement à l'histoire, ne présentant que des inconvénients en comparaison aux lampes à filament métallique actuelles.

La première lampe à filament métallique réellement pratique fut construite par le Dr. Auer von Welsbach en 1898. Son filament consistait en osmium; elle ne consommait que 1,1 watt par bougie, sa durée était excessivement longue de 1000 à 2000 heures. Ce qui limitait considérablement l'emploi général de la lampe à osmium était l'inconvénient de ne pouvoir utiliser ces lampes que grâce à un montage de trois lampes en série sur les réseaux à 110 volts. Ce qu'on doit demander d'une lampe à incandescence c'est une complète indépendance. Si le besoin de lumière dans un local donné peut être satisfait par une seule lampe, on ne doit pas être obligé d'en utiliser trois à la fois. La lampe à filament d'osmium appartient donc aujourd'hui également à l'histoire.

En 1905 la lampe Tantale apparût; sa consommation spécifique initiale est de 1,5 à 1,7 watt par bougie, et sa durée de combustion est de 600 à 800 heures quand elle se trouve alimentée avec du courant continu.

La lampe au tungstène a fait son apparition en 1906. Elle est caractérisée par une consommation de 1,0 à 1,2 watt par bougie, rendement qui varie très peu pendant la durée de combustion de 1000 à 2000 heures.

Le tungstène (en allemand Wolfram) se prête bien à la construction des filaments pour lampes à incandescence, grâce à son point de fusion très élevé. Voici les points de fusion de quelques métaux nous intéressant: platine 1.800°; tantale 2.275°; osmium 2.500°; tungstène 2.850°.

Comme la résistance spécifique du tungstène est sensiblement plus faible (0,07) que celle du filament de charbon (0,63), il s'en suivit que, pour obtenir la même intensité lumineuse à égalité de tension, il fallait employer un filament de tungstène beaucoup plus long et beaucoup plus ténu que le filament de charbon. Pour



une lampe de 25 bougies sur 110 volts le filament de charbon doit avoir un diamètre de 0,154 mm. et une longueur de 258 mm., tandis qu'un filament de tungstène doit avoir un diamètre de 0,03 mm. et une longueur de 530 mm. Il fallut loger toute la longueur du filament de tungstène dans des ampoules en verre, présentant à peu près les mêmes dimensions que les ampoules des lampes à charbon, source de beaucoup d'échecs dans la période de 1906 à 1909. Mais une fois que l'industrie avait appris à se passer des archets libres de filaments dans l'ampoule et d'appliquer une tige centrale en verre de laquelle partaient des crochets ressorts qui embrassent les archets des filaments dans leur sommet, en réussissait à produire dans les deux dernières années une lampe à filament de tungstène très résistante.

Dans l'enfance de l'industrie des lampes au tungstène on ne pouvait faire qu'une lampe de 40 bougies sur 110 volts. Aujourd'hui les lampes de tungstène se fabriquent suivant l'échelle 16, 25, 32, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 1000 bougies sur 100 à 150 volts et de 25, 32, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 600, 1000 bougies pour des réseaux de 200 à 250 volts. Pour calculer le rendement des lampes au tungstène on peut utiliser la formule de Teichmüller. Si :

$k =$ le prix d'un kilowatt-heure;
$s =$ la consommation spécifique de la lampe en watt par bougie ;
$p =$ le prix d'une lampe;
$d =$ la durée en heures;
$n =$ l'intensité lumineuse de la lampe en bougies;
$b =$ le prix de revient d'une bougie-heure;
$B =$ le prix de revient d'une heure de brûlage de la lampe,
l'expression :

$$b = \frac{s \cdot k}{1000} + \frac{p}{d \cdot n}$$

$$B = \frac{s \cdot k \cdot n}{1000} + \frac{p}{d}.$$

Si l'on compare, en se servant de cette formule, les dépenses des différentes lampes à incandescence, on constate que les lampes au tungstène comparées au lampes à filament de charbon, à la lampe Nernst et à la lampe au tantale présentent un pro-

grès considérable dans tous les cas où le courant se vend à raison de 0 fr. 05 le kilowatt-heure et plus. Sur la lampe à filament de charbon la lampe au tungstène donne une économie d'environ 70 % de courant à intensité lumineuse égale, tandis qu'à égalité des dépenses pour le courant la lampe au tungstène permet d'obtenir une intensité lumineuse à peu près trois fois plus grande que les lampes au charbon.

Dans la série indiquée plus haut on ne trouvera pas des lampes au tungstène de 10 bougies, tandis que les lampes à filaments de charbon existent pour cette puissance lumineuse, absorbant entre 30 et 40 watt. En principe, il n'existe pas d'obstacle sérieux de produire des lampes au tungstène de 10 bougies pour des voltages jusqu'à 130 volts, mais on peut nier aujourd'hui le besoin des lampes de 10 bougies au point de vue de l'ingénieur " illuminateur „. A l'époque où l'intensité lumineuse de 10 bougies (la plus petite produite au moyen de lampes à filaments de charbon) exigeait une dépense de 30 à 40 watts, on utilisait ces lampes à l'éclairage des caves et des locaux de moindre importance pour des raisons d'économies. On peut observer, en considérant l'histoire de l'éclairage artificiel, que l'intensité de l'éclairage total, en quelque sorte échelle de la culture d'un pays, augmente parallèlement avec cette dernière. Pourquoi donc les locaux jusqu'alors traités très avarement au point de vue de l'éclairage, ne suivraient-ils pas cette voie d'autant plus que les lampes tungstène de 16 à 25 bougies (18 à 32 watts) sont encore plus économiques que les lampes à filament de charbon de 10 bougies (30 à 40 watts).

Pour ces raisons l'industrie des lampes au tungstène n'a pas cherché à s'occuper des lampes de 10 bougies peu demandées, et s'est efforcée de gagner un autre domaine qui était jusqu'alors entièrement réservé aux lampes à arc électriques. Les lampes au tungstène de 200 à 600 bougies sont destinées à remplacer toutes les lampes à arc utilisant des charbons purs, soit à libre accès de l'air, soit à vase clos. L'état de la technique de l'éclairage de nos jours est tel que le domaine d'une à mille bougies est réservé à la lampe à incandescence au tungstène, tandis que le domaine de 1000 à 5000 bougies est réservé aux lampes à arcs ayant des charbons à mèche minéralisée (charbons système Blondel).

Pour les réseaux alimentés par du courant alternatif la lampe au tungstène de 200 à 600 bougies permet de faire de

remarquables économies en comparaison aux lampes à arc aux charbons purs.

Pour des réseaux alimentés par du courant continu les dépenses pour le courant et les charbons sont à peu près égales pour les lampes à arc aux charbons purs et les lampes à incandescence au tungstène. Néanmoins en ce cas les lampes au tungstène, présentant une durée d'au moins 1000 heures, sont demandées avec préférence, grâce à leur propriété de ne demander la moindre attention pendant cette période, tandis que les lampes à arc doivent être regarnies et nettoyées toutes les 8 à 20 heures. Les lampes au tungstène, ne possédant pas de régulateur, ne peuvent pas donner lieu à un papillottement de la lumière qu'on remarque si fréquemment aux lampes à arc, si les charbons contiennent des impuretés ou si la lampe à arc influence les autres de la même série, fait qui se produit souvent malgré les soins donnés aux régulateurs même différentiels.

Un fait connu est que les lampes au tantale durent moins longtemps alimentées par du courant alternatif comparées avec celles branchées sur des réseaux à courant continu.

M. Sharp a donné l'explication de ce phénomène, en démontrant par des préparations microscopiques que des phénomènes moléculaires se produisent dans le filament de tantale modifiant sa structure, le rendant cristallin, déplaçant les molécules, élevant la résistance en certains points, entraînant une surcharge de ces points du filament et enfin occasionnant sa fin prématurée. Il faut considérer que le filament de tantale est un fil étiré, tandis que le filament de tungstène est aujourd'hui un fil produit par des procédés thermo-chimiques, non mécaniques, de sorte qu'il n'existe pas de différence de durée pour la lampe au tungstène alimentée par du courant alternatif ou continu.

Depuis quelques mois l'industrie a réussi à étirer aussi le tungstène; il reste à constater, si les lampes à filaments au tungstène étirés se comportent comme les autres lampes au tungstène ou comme les fils étirés du tantale.

Néanmoins dans quelques réseaux alimentés par du courant alternatif on pouvait observer une chute prématurée de la durée des lampes de tungstène aux filaments non étirés. La cause étaient les surtensions provenant des distributions primaires à haute tension contre lesquelles ces réseaux n'étaient pas efficacement protégés.

Une autre cause a été indiquée récemment par M. Kinsloe (“ Electrical World „, Tome LVI, pp. 1179, 1910). M. Kinsloe a élucidé l'influence de la forme de la courbe de tension sur la durée de combustion et l'intensité lumineuse en comparaison à la forme sinusoïdale.

Cette diminution de la durée de combustion était dans un cas de 50 % pour les lampes au tantale et de 39 à 47 % pour les lampes au tungstène. M. Kinsloe promet d'étendre ses recherches aussi sur des courbes aplaties. Il serait à désirer que ces résultats, d'une grande importance pour le fonctionnement des lampes à incandescence, soient contrôlés par d'autres expérimentateurs.

DISCUSSION

M. M. v. Recklinghausen (Paris) *communique qu'on a fait récemment des expériences sur l'emploi du tungstène comme crayon pour lampe à arc dans une atmosphère inerte; il dit que cette application serait très intéressante. Il demande si d'autres expérimentateurs ont fait des expériences analogues.*

Personne n'ayant aucune nouvelle sur cette application, le Président clôt la séance.

The International Outlook in Scientific Illumination.

Leon Gaster (London).

In accepting the invitation to read a paper before this distinguished Congress on The International Outlook in Scientific Illumination I am conscious of having undertaken a difficult task. The subject is too wide a one to be dealt with except in a very general manner and all that I desire to do is to present a brief summary of a few of the most important problems in Illuminating engineering which are now the subject of international discussion.

The subject of the paper, I venture to think, is one that should be of special interest to those present. This Congress is concerned not so much with progress in theoretical science as with industrial applications, and I feel that the application of light in the service of man, " illuminating engineering „ as it is now termed, presents a new and fascinating field for study with which all of us, whatever our vocations, are to some extent concerned.

A second reason why the subject seems suitable for the occasion is that the problems involved are of international importance. All nations are now grappling with the new situation created by recent developments in the subject and are conscious of similar gaps in their knowledge which require to be made good. I may add that the Illuminating Engineering Society, which I have the privilege of representing on this occasion, is essentially international in its scope, and it occurred to me that an account of some features of the movement in favour

of better methods of lighting would be of interest. I trust that this paper may be the means of showing how great is the need for international cooperation in matters of this kind, and of pointing out some respects in which concerted action might be beneficial in the future.

The International Outlook in Scientific Illumination.

During the last few years considerable progress has been made in the manufacture of electric lamps, and we can say that not only have there been remarkable improvements in lamps and illuminants, but much more attention is now being given to the best means of applying them to secure efficient illumination. " Light „, it may be recalled, is the *Cause*, Illumination the *Effect.*

It is with this aspect of the subject that it is my privilege to deal in this paper, and in this connection I should like to draw your attention to some problems, the solution of which is now of international importance. Whereas we had formerly only a few lamps to select from, we have now a wide and varied choice of illuminants. Consequently the question of comparing different methods of lighting and the rating of lamps in general, is becoming a very important one.

As mentioned above, the question of *the best means of using light* now receives quite as much attention as the economy of the actual sources of light; this is now apparent both in Europe and the United States. We now desire to know, not only how much light certain lamps will gield for a given consumption of gas or electricity, but also how schools, factories, shops, streets, etc. may be better lighted. In England and the United States this branch of knowledge is now generally known as " Illuminating Engineering' „.

Comparison of illuminants, colour, hygienic effects, etc.

Methods of testing and rating lamps are very important when an attempt is made to compare the cost of different methods of illumination. But it is recognised that the cost is only one among many important factors. The colour, the nature of the



shadow thrown by lamps, their hygienic effects, and such like matters, are now being studied, and it is most essential that there should be some basis of agreement on these points and also on the terms and methods employed in the investigations carried out in different countries.

The need for some common basis of judgement is very apparent. Statements are constantly being made to the effect that one or the other illuminant closely approaches daylight; but these claims are rarely substantiated by exact scientific data. Some generally accepted method of testing this point is requisite.

It may be added that for many industrial purposes a source of light which resembles daylight closely, and therefore enables colour matching to be carried out with precision and accuracy after dark, would be very valuable. It is stated, for example, that the Moore Carbon dioxide tube has been very beneficial, in the United States, in enabling many cotton and silk mills to carry on their work unrestricted by the short winter days, and there are many other cases in which exact colour matching is needed, and where a source having these qualities would be valuable. In passing I should like to refer to the work of Dr. H. E. Ives and Mz. t. M. Luckiesh, who have recently attempted to convert the colour of the tungsten lamp to a close approximation to daylight by the use of suitable obsorbing glass and gelatines. Naturally this entails a sacrifice in luminous efficiency, but this may be more than compensated for by the gain in correct revelation of colour. There are also many questions which will require further study, but into which I cannot enter closely, regarding the effect of different colours on the visual organs and also on the whole human system.

All these are problems which require to be autoritatively examined. Such matters are now to be considered in the selection of one illuminant in preference to another, and the engineer, as well as the hygienic expert, is vitally interested.

A special illustration of the need for clear ideas and definite knowledge on such points is afforded by the question of the effects of different illuminants on vision. Progress in electric lighting, for example, has been unquestionably retarded in the past owing to an impression that " electric light is bad for the eyes „; yet it would appear that it is the misuse of lamps — for instance the placing of clear bulb filaments in the direct

range of view and close to the eyes — that really leads to inconvenience of this kind. Naturally other illuminants are also prejudicial to the eyes if used in this unsatisfactory way.

Comparison based on illumination Needed.

I may also venture to add that comparisons of different illuminants should be based on the actual illumination produced. It is not enough to consider only the stated candlepower of the lamps used. One must also investigate the local conditions and decide whether the illuminant can conveniently be applied to produce the illumination which the work really requires. It is also to be desired that a definite and authoritative ruling be laid down regarding the amount of illumination demanded by different classes of work.

Now that simple and effective methods of measuring illumination are available, it should not be long before we have more exact informations on this point which is obviously an important one for those directly concerned with electric lighting. But there are many other users of light who occupy an impartial position and are equally anxious to know the truth.

The great railway companies, for example, are directly interested in the merits of the respective illuminants, and there are many municipalities, which own both the gas and electric supply, and would find impartial and reliable information on the subject of great value. There are also a host of now forms of lamps using acetylene, incandescent oil, paraffin, petrol-air, etc., which have certain special uses but on which definite information as regards candle power, efficiency and other practical qualifications is badly needed.

International outlook in Matters of illumination.

I should next like to draw attention to a few illustration of the international outlook in matters of illumination. It will be seen that similar problems are exciting the interest of investigators all over the world, and there has already been much useful interchange of ideas between these authorities, thus paving the way for more perfect agreement in the future. During the last few years much work in this direction has been proceeding simultaneously both in Europe and in America.

In the United States the Illuminating Engineering Society was founded in 1906, with the object of providing an impartial platform to deal with all illuminants and with practical problems in lighting. Its membership now exceeds 1.500, and valuable transactions on illumination have been published for several years. A remarkable illustration of specialisation on these subjects has just been afforded by the John Hopkins course of lectures in Illuminating Engineering Society (U. S. A.) last year. This unique course of lectures was conducted by eminent authorities in their respective subjects coming from all parts of the United States. Such matters as progress in electric, gas and other methods of lighting, the physiological and architectural aspects of illumination, photometric units and the measurements of light, shades and reflectors etc., and many other matters of interest to lighting engineers were dealt with most exhaustively. This series of lectures has since been published by the John Hopkins Press in two volumes. In England, I may add, that a commencement has also been made; last year, a preliminary course of six lectures on illuminating engineering was organised at the Westminster Technical Institute, and during the coming winter, similar courses of twelve lectures each, are to take place at several London Technical Institutions.

The London County Council have also been considering the course to be followed in connection with a Central Opto-Technical Institute, and a sum of L. 30.000 has already been voted for this purpose.

In 1909 a Society with similar aims was started in Great Britain, the first President being Professor S. P. Thompson D. Sc., F. R. S. A feature is the influential and international support it receives from many of the greatest authorities on lighting in Europe and the United States. During the first two sessions of the Society, many important subjects have been discussed, and the foreign Corresponding Members of the Society added greatly to the value of these discussions by sending communications from their respective countries. Such questions as the effects of Glare in lighting, the Measurement of Light, and the Illumination of Schools and Libraries (1) have been

(1) Illum. Eng. London, Vol. III, 1910; Vol. IV, 1911; See also Reports of the Council for the past Sessions, Illum. Eng. London, Vol. III, June 1910; Vol. IV, June 1911.

dealt with and these discussions have doubtless helped to pave the way for international agreement on many points of fundamental importance. It may be added that in these discussions the Illuminating Engineering Society received the cooperation of the Library Association, the Association of Teachers in Technical Institutions, and many outside bodies directly Interested in these subjects, and two Joint Committees have now been appointed to carry the work a step further and act as a centre for additional information. One other important matter that has been before the Society is the question of framing a Standard Specification on Street Lighting. A Joint Committee, on which delegates of the Illuminating Engineering Society and the Institutions of Gas and Electrical Engineers, and the Association of Municipal and County. Engineers, are taking part, is considering this question, and a collection of the views of Continental and American authorities (received in reply to a circular inquiry sent out previous to the appointment of this Committee) has recently been published (1).

International interest in lighting of factories and workshops.

Yet another example of the international interest of the Illuminating Engineering Sociery is provided by its participation in the Second Congrès International des Maladies Professionnelles held in Brussels last September, under the patronage of the Belgian Government. Over 600 delegates from different nations, many of them Government representatives, were present, and more than 100 papers were presented, dealing with various branches of industrial hygiene. The Illuminating Engineering Society in London therefore gladly responded to the suggestion that they should name delegates, and four gentlemen were appointed. The writer had the privilege of reading a paper on the " Hygienic Aspects of Illumination „ and there were other most valuable papers by Dr. A. Broca, M. F. Masserelli, Dr. F. Terrien etc., dealing with different aspects of industrial lighting.

---

(1) Illum. Eng. London, Vol. IV, July 1911.

It need hardly be said that the deliberations of such a body would be of considerable importance to the public and even more so to those concerned with practical lighting problems. I should next like to draw attention to the formation by the French Government of a special Committee to deal with the Hygienic aspects of lighting (1). This Committee includes among its members distinguished physicians and oculists, representatives of gas and electric lighting, inspectors of factories and workshops etc., and it should serve as a most valuable centre for impartial information. The main objects of this Committee are as follows: —

1. To study, from the standpoint of general health and its effects upon vision, the various methods of artificial lighting now in use.

2. To determine the composition and quality from a hygienic standpoint of the different combustible illuminants, and to examine the effect of prejudicial gases and the amount of heat developed thereby.

3. To fix a certain minimum amount of artificial illumination favourable to the normal requirements of vision.

4. To study the most practical methods of measuring illumination.

5. To formulate recommendations governing the best means of applying customary methods of lighting to the chief varieties of industrial operations.

6. To present to the Ministry a report on the subject of short sight and impairments of vision and on the best methods of guarding against the causes of myopia.

Italy deserves the credit of being the first country to establish in Milan a unique hospital and institution dealing especially with the subject of industrial diseases and hygiene. I venture to hope that this Institution which has already done such admirable work in other fields, will adopt the suggestion of including in their field of study the hygiene of lighting problems. It is now well recognised that there are few matters of greater consequence in industrial employment and I feel confident that if this Congress were the means of stimulating researches in this direction alone it would have done much for the benefits of mankind.

---

(1) See: Illuminating Engineer, London, July 1911, page 454.

In the United States the effect of bad illumination in leading to defects of vision has also been receiving much attention. An important step has been the formation of the National Association for the Conservation of Vision which has already received influential support from the medical profession, lighting engineers, and representatives of various industrial organisations. Its object is to link together the work of the oculist and lighting engineers, and to find out by researches which are the conditions of lighting which give rise to defective eye sight and how they may best be avoided.

In England, the Home Office have also been giving this question special attention. The reports of H. M. Inspector of Factories for the last few years have made illumination the subject of special comment, summing up the matter in the words " The importance of adequate lighting in industrial employment is obvious: as a matter of safety, especially where dangerous processes are carried on, as bearing upon health in many ways, directly and indirectly; and as condition of efficient work. On the health side it is hardly necessary to point out that inefficient illumination entails risk, strain, and ultimate damage to the sight, even apart from the interference with work, or that it tends to neglect of cleanliness and adds to the risk of working in poisonous materials „.

During the present year a striking report of the Departmental Committee on Accidents in Workshops and Factories has also been published. It contains a great deal of practical information and shows very clearly how imperfect illumination in cotton mills, factories, shipbuilding yards etc., very often leads to loss of life and limb. In conclusion, the report emphasizes the need for consideration before adopting any specific standard of illumination, " but, even before such a standard can be arrived at, it is recommended that the inspectors should be given general statutory powers to require adequate lighting in all places where work is done, and in all places which are a source of danger by reason of insufficient lighting „.

It will be seen, therefore, that the Home Office in Great Britain is fully alive to the importance of illumination from the industrial standpoint. I am given to understand that the question of forming a Committee on similar lines to that organised in France is now receiving very careful consideration; and it is probable that some enquiries will be instituted shortly,

in co-operation with investigations in other countries, dealing with certain aspects of factory lighting, on which additional information is specially required.

At the present moment it is therefore most desirable that investigators, in various countries, should work in co-operation so that a common standard of what is wanted may be set up. Otherwise we may be faced by the inconvenience of a number of different sets of requirements coming into existence and, once this is done, it might be much more difficult to secure common agreement at a later date.

These matters have been mentioned merely to show how many are the points of international interest in connection with Illuminating Engineering. It may be added that lighting matters are also the subject of constant discussion at the hands of Societies and in the technical press on the Continent: as an example, special mention might be made of the valuable work of the Verband Deutscher Elektrotechniker in framing standard recommendations on the measurement of illumination and other matters (1).

It might also be mentioned that the methods of street lighting employed on the Continent have aroused special interest in England and the United States, and that both the City of London and Boston (U. S. A.) have recently despatched delegates to examine and report upon these conditions with a view to introducing improvements in their respective localities (2).

The " International „ Unit of light.

In order that the performances of lamps in different countries should be made comparable, it is clearly essential that their light should be expressed in terms of one and the same unit. Until recently much confusion was caused by the fact that different units were employed by different nations, and in testing and marking lamps it was not always made clear which was

(1) Elektrot. Zeitschr., April 14th, 1911; Illum. Eng. Lond., Vol. III, 1910, page 403.

(2) Illum. Eng. Lond., Vol. II, 1909, pp. 526, 623, 677; Vol. I, 1908, page 617.



intended. Moreover it was not even certain what was the exact relation between the units commonly employed in different countries, the more so as the method employed by those concerned with gas and electric lighting, even in the same country, was not always identical.

Steps have, however, recently been taken to remove this confusion. We have seen *firstly* the adoption of a definite standard by each individual country and *secondly* a considerable simplification in the international relations between these Standards.

The establishment of laboratories in the chief countries of Europe and in the United States to deal with this question of units and with photometry has done much for the precise measurement of candle power. By the interchange of carefully calibrated electric lamps between these laboratories the relations between the units used in the different countries have been accurately ascertained; and, as this constant interchange of lamps is being diligently persevered in, we may reste assured that the possibility of any very material change creeping in and affecting these values is remote.

But a great simplification was accomplished in 1909 by the decision of three countries England, France and the United States to adopt the same unit (1). We have now only two units of light in common use, the " international unit „ so called and the Hefner, which are connected by a very simple relation, namely:

1 Hefner Candle = 0.9 " International „ Candle.

This step has been a very important one, but we may hope that in the future it will eventually be found possible to agree upon a single truly international unit to be used all over the world. While mentioning this point I should like to emphasise the fact that such agreement does not seem to require every country using the same standard although this would naturally be a very desirable result; but, for practical purposes the same unit might be employed throughout the civilised world and yet each country might be left to use whichever standard it preferred as a means of checking this unit. The point I venture to lay stress upon is that agreement on a common inter-

(1) Illum. Eng. Lond., Vol. II, 1909, p. 444.

national unit is such an obviously desirable advantage from a practical standpoint, that it is worth some degree of compromise; and we ought not to allow national feeling on behalf of any special standard of light to unduly influence us in the matter.

The importance of simplicity and definite understanding on these matters can hardly be over-estimated. If lamps are issued by various countries marked in terms of different units, constant confusion must occur; it is equally inconvenient that experimenters, who are naturally anxious to learn what their brothers in other countries are doing, should be obliged to understand not only different languages but also different units and modes of expression.

Methods of expressing and Testing candle power.

Supposing, however, that a single unit of light were agreed upon, there still remain questions in dispute connected with the measurement of the candle power of lamps. Among Electrical Engineers it is well known what confusion often enters when it is attempted to compare, say, arc lamps and glow lamps, owing to the fact that the candle power in each case is measured and expressed by manufacturers in a different way; for example: mean spherical, or mean hemispherical, or horizontal candle power (or even candle power in some special direction only) may be measured, and it is sometimes not even stated which of these is being used. Similar confusion exists in the case of gas lamps, and Professor H. Strache (1) and others have pointed out how different are the results given in Germany and in England by reason of this confusion. The methods of manufacturers, be pointed out, varies according as upright and inverted mantles are used; sometimes horizontal candle power, sometimes vertical candle power immediately below the lamps, and sometimes candle power at some particular angles are measured. Naturally when it is sought to compare different illuminants confusion becomes worse confounded.

It has sometimes been urged that mean spherical candle power, involving the light given in all directions, is the only rational and scientific method of comparing illuminants which

(1) Illum. Eng. Lond., Vol. II, 1909, pp. 424, 489.

differ radically as regards distribution of light. Others again, argue that since we are usually mainly concerned with the light thrown in a downward direction, mean hemispherical candle power should be used. Some authorities have even insisted that in the case of a very extensive light-giving surface such as the Moore tube, it is difficult to assign any special candle power and that comparisons should be based on the total flux of light or on measurements of illumination over a given area.

Setting aside exceptional cases, however, it would probably be conceded that agreement on some common method, whether spherical or mean hemispherical candle power, should be possible if only the immense convenience of standard practice is borne in mind, and the problem is approached in a liberal spirit. It may be admitted that no method is ideal for every conceivable purpose, but let us rather resolve to adopt the best compromise possible for the sake of the advantages uniformity would secure.

Whatever method be employed, however, all authorities are agreed that it should be clearly stated exactly what variety of candle power is intended (i. s. whether horizontal, spherical or mean hemispherical etc.) and symbols have been proposed to indicate this. For example the following symbols appear to have received the approval of the International Photometric Commission in Zürich in 1907, and to have been adopted both by the Verband Deutscher Elektrotechniker and by the Verein von Gas und Wasserfachmännern in Germany. They are widely utilised by authorities in Europe and by the Illuminating Engineering Society in the United States, and yet they lack the necessary international representative support to secure universal adoption in all countries and among representatives of all illuminants. In view of the convenience of general definite agreement on such a set of symbols as these, this seems a matter which might well be pushed forward.

I_h = Horizontal Intensity.
I_o = Mean Spherical Intensity.
$I_{\smile}$ = Mean Hemispherical Intensity (lower hemisphere).
$I_{\smile}$ = Mean Hemispherical Intensity (upper hemisphere).

The following additional symbols were also suggested by the International Photometric Commission in Zürich, in 1907, but are not quite so well known:

Ias, -- Intensity at an angle α to the horizontal (upper hemisphere).

Iai, = Intensity at an angle α to the horizontal (lower hemisphere).

Imas, and Imai, Maximum intensities at an angle α to the horizontal in the upper (s) and lower (i) hemispheres respectively.

It will be noticed that in Continental nomenclature the term " Intensity „ is invariably used whereas in England and America " Candlepower „ is probably still the more usual term. It may be said that the latter term is the least accurate and scientific of the two, but the former is at present less familiar.

It may be added that it is now regarded by most authorities as desirable that not only the candle power generally but also the polar curve, showing the exact distribution of light in all directions, should be given. This is essential not only because the distribution of light from different lamps varies so greatly, but also because of the growing tendency to make use of reflectors and shades, so as to alter the distribution of light and direct the rays where they are most needed.

Measurement of illumination.

During the last few years greater attention has been paid to that branch of photometry which deals mainly not with the measurement of the candle power of the lamps but of the actual illumination of the table, street or whatever it may be that we desire to shed the light upon. This quantity, it is suggested, is the one with which we are most intimately concerned.

For example, at the meetings of the Illuminating Engineering Society in London, where School and Library lighting were discussed, the view was expressed that the illumination for reading ought not to be less than 3 foot candles; results obtained in many of the schools and libraries in London were brought before the meeting in order to show that measurements of this kind are rendered quite simple and practical by the aid of modern instruments.

In the same way, the importance of illumination measurements in judging different methods of street lighting, and for out door work, is now recognised. Such measurements form the basis of the recommendations of the Sub-Committee re-

cently appointed by the Verband Deutscher Elektrotechniker in Germany (loc. cit.), and have been considered in connection with the attempt to frame a specification for street lighting (1).

In these recommendations it was suggested that illumination, both indoors and out, should be measured horizontally in a plane 1 metre above ground, and that maximum, mean and minimum values should be studied on the basis of watts or litres of gas per hour, per lux per square metre.

During the last year a variety of valuable researches are announced to have been carried out under the auspices of the Verband Deutscher Elektrotechniker. Dr. W. Wedding (2) in summarising the nature of these researches, lays special stress on the importance of securing cooperation with representatives of gaslighting in order to render these recommendations effective.

This question of measuring illumination is one on which international and impartial information would now be most useful. It is desirable that such errors and difficulties as have not yet been overcome in istruments of this should be more completely investigated, and that fuller information should be available as to the degree of accuracy which is necessary and possible for different purposes.

Lastlyg should like to take this opportunity of laying special stress on the great improvements that have recently been made in methods of measuring illumination. During the last few years quite a number of convenient instruments have been devised and, although even greater improvements may be expected in the future, the measurement of the actual illumination required is now looked upon as a perfectly simple and practical process.

As explained previously we have yet much to learn regarding the amount of illumination required for different purposes, but the great value of such measurements in affording an actual record of conditions can scarcely be over-estimated. In collecting data on such matter as these it is most essential to have at one's command convenient methods of measurement so that one's conclusions can be supported by actual facts and figures.

(1) The Illuminating Engineer, London, July 1911, pages 410-419.
(2) Elektrot. Zeitschr., July 6, 1911, p. 675.

This is now fully appreciated and it may be anticipated that measurements of illumination will play an even greater part in Illuminating Engineering in the future.

Units and nomenclature of illumination.

It is also desirable that there should be a common understanding between different nations as to the units of illumination to be employed. Owing to the fact that not only different units of light but also distinct units of length are used in different countries, there has been much divergency in methods of expressing illumination. For example *B. Monasch*, in a striking article on the subject, has tabulated the great variety of units until recently employed in different countries. Fortunately the agreement on an international unit of light between France, England and the United States has simplified matters somewhat, his table now assuming the following form (1):

Results expressed in.	Factor for conversion into the desired unit				
	1. Hefner-meter (German Lux)	2. Hefner foot	3. International candle foot	4. Intern. candle meter " bougie meter " Lux	5. Carcel meter
1. Hefner meter (German Lux) . . .	1.	0.0929	0.0837	0.9000	0.095
2. Hefner foot	10.76	1.	0.9009	9.71	1.001
3. Intern. candle foot	11.95	1.11	1.	10.76	1.054
4. Intern. candle meter . . . . . bougie . . . . . Lux	1.11	0.103	0.0929	1.	0.104
5. Carcel meter	10.75	0.9986	0.966	9.61	1.

But it is clear that we are still some distance from the ideal state of dependence on a single unit. The use of the " lux " (i. e. the illumination produced by one candle at a distance of one metre) is almost universal on the Continent, but this unit

(1) Illum. Eng. Lond., Vol. II, 1909, p. 742.



is not yet much employed in the United States, and scarcely known in England where the " foot-candle „ is still almost exclusively used. Dr. Monasch (loc. cit.) has also pointed out that even in the case of the word " lux „ confusion is possible. For in Germany the term is commonly used to denote one metre candle (Hefner), while in France the metre candle (International) would be intended.

Surface Brightness and Intrinsic Brilliancy.

The study of the effects of " glare „ caused by the high intrinsic brilliancy of some artificial illuminants, and the consideration of such comparatively mildly lighted objects as wall papers in rooms etc., has led illuminating engineers to concern themselves more closely with the units available to denote " brightness „. Various terms such as Luminosity, Intrinsic brilliancy (Éclat Intrinsèque), surface brightness (Flächenhelle) etc., have been used and more recently the term " specific intensity „ has also been suggested in the United States.

This is a question on which international agreement seems still wanting. Not only do we find various terms in use, but they are also often used in a different sense.

For example it is customary to express the intrinsic brilliancy of very bright objects, such as glowing filaments or mantles, in terms of candle power per unit of area, and many tables (for example those of Stockhausen, Weber, Barrows and others) have been published on these lines.

But it has been suggested by L. Weber (1) and others that this method is not the most convenient one when dealing with surface of *moderate brightness* such as wall papers etc.

He has therefore proposed a second additional method according to which the brightness of such a surface is measured in units of illumination (Lux or foot-candles). According to this method, which has been followed by Dow and others in the discussions of the Illuminating Engineering Society in England, the surface brightness of one foot-candle would mean " the degree of surface brightness of a white matt surface, of Albedo unity, which receives an intensity of illumination of one foot-candle „.

---

(1) Elektrot. Zeitschr., Nov. 26th, 1908.

One important relation in dealing with walls, ceilings, and other illuminated objects is the connection between surface brightness 'e' illumination 'E', and reflecting power, 'ϱ', it is as follows: $e = E\varrho$. The convenience of this formula has been suggested as an argument in favour of the method of denoting surface brightness in terms of foot-candles. Weber suggests further that brightness expressed in terms of " candlepower per square metre „ should be regarded as expressed in primary units and the unit denoted by PHE (Primäre Helligkeitseinheit); similarly the secondary unit of surface brightness, expressed in terms of foot-candles might be denoted by SHE (Sekundäre Helligkeitseinheit). It has also been proposed that the term surface brightness should be expressed in candles per unit area.

There have been other suggestions. Thus Harrison (1) has expressed the desire for some method of distinguishing between illumination from an approximately " point source „ and from a bright surface of considerable area. Yet another proposal is that some means should be adopted to distinguish between direct illumination, and illumination due to reflection from walls and ceilings etc. Whatever view be taken of these suggestions it will be admitted that the introduction of methods of lighting from such large surfaces, as the Moore Tube, or illuminated ceilings presents certain photometrical difficulties. These were not of serious consequence a few years ago, but deserve more consideration now, especially as the use of indirect systems of lighting is becoming more general.

It will be seen therefore that there seems a need for discussion on some of these disputed points and it would be very desirable if some definite international understanding on this point could be arrived at. The great interest in the subject of illumination that has developed during recent years has already helped to clear up the position somewhat and the time seems now to be ripe for international action.

Photometrical quantities in general.

It may be added that there are other photometrical definitions and conceptions such as the " Lumen „ and " Flux of

(1) Electrician, May 26th., 1911. See also Trotter, Illum. Eng. London, June 1911.

Light „, which were of little importance a few years ago, but are of more practical consequence now. Lighting engineers have now begun to make use of the Lumen as a means of specifying the lighting conditions in practice, and this method is now very frequently followed in the United States. Naturally any uncertainty as to the value of the unit of light to be used also affects the derived unit of flux of light.

As a final illustration of the degree of uniformity arrived at in defining such quantities I reproduce the nomenclature suggested at the International Electrical Congress in 1896; this is identical with that used in Liebenthal's well known book on photometry (1), and may be taken as typical in German practice; also the tentative list of items recently put forward by the Sub Committee appointed by the Illuminating Engineering Society in the United States, which was reported at the Annual Convention held at Baltimore in 1910 (2). In addition, I have reproduced the list of symbols, suggested by Prof. A. Blondel (3) of Paris, who, as one who was mainly responsible for bringing forward this matter of nomenclature at the International Electrical Congress in 1896, is entitled to speak with authority on the subject.

While there is a substantial basis of agreement as regards the general nature of these terms, the symbols to denote them have not yet been definitely decided. The importance of securing the use of standard symbols and nomenclature to be employed in text books and by scientific men in all countries, need scarcely be unsisted upon.

Who, then, ought to deal with this matter?

The question has been dealt with in part at a number of Congresses, but I venture to suggest that none of these have carried quite the weight which is now regarded as essential. Valuable pioneering work was done at the International Electrical Congress at Geneva in 1896, and the International Photometrical Commission in their subsequent meetings have also dealt with the question. As explained, a Committee appointed by the American Illuminating Engineering Society is also inves-

(1) Praktische Photometrie, pp. 149, 150.
(2) Trans. Illum. Eng. Soc. (U. S. A.), November 1910.
(3) Illum. Engineer, London, Vol. IV, May 1911, p. 265.

tigating the matter and the suggestion has been put forward, and cordially appreciated, that their tentative efforts should be seconded by the Illuminating Engineering Society in London which holds a unique international and impartial position.

At the same time the question of symbols and nomenclature naturally falls within the field of the International Electrotechnical Commission which is doing such valuable work in other departments of electric science. In order to carry the necessary weight a Commission to deal definitely with these matters must have two main qualifications.

1) It must be of a truly International character, and 2) it must be representative of different methods of illumination. Needless to say it should also receive the assistance of authorities of high standing on these matters.

We can see how in the past the work of Congresses has been handicapped by their not complying with these conditions. For example the excellent work of the International Photometrical Commission has not always received the support it might have done because it was not originally considered truly international. Moreover its decisions were not acceptable to many electrical engineers who considered that electrical interest were not properly represented and that the Commission's work was applicable mainly to gas photometry.

It was therefore extremely satisfactory to observe that, at the meeting held in Zürich this year, it was resolved to modify the Commission in such a way as to remove these disabilities to a great extent. Steps are now being taken for the electrical engineering interests to be represented on the Commission, which will work hand in hand with other electrical bodies. At this meeting the proposals of the Sub Committee of the Illuminating Engineering Society in the United States, and also those of Professor A. Blondel, previously referred to were considered and have been referred to a Sub Committee for further investigations. We see, therefore here gratifying evidence that the need for co-operation between the various bodies concerned with illumination is now appreciated.

It may be added that the Sub Committee of the Illuminating Engineering Society in the United States, which is impartial, as regards representation of different illuminants, has fully recognised the necessity of co-operation with other countries and merely put forward their suggestions as a tentative

programme awaiting further international consideration; this consideration they will doubtless now receive.

There is another body which is intimately concerned with questions of Symbols and nomenclature, i. e., the International Electrotechnical Commission, which has already done such good work in connection with other fields of electrical work. The International Electrotechnical Commission, I am pleased to say, has already invited and received the support and assistance of the Illuminating Engineering Society and, recognising the representation and international scope of this Society, would doubtless be willing to consider the recommendations on the subject of the nomenclature standard in symbols of photometry submitted by them.

What I suggest therefore, is that a truly international Committee should now be formed on which different systems of lighting are adequately represented and in which representatives of the bodies referred to above should also take part. This Central Committee might be aided in its works by Sub Committees (meeting at more frequent intervals than the central body) in various countries and would then be in a position to take up these points in a authoritative and permanent manner. The International Photometric Commission might well become the centre of such a Committee and would co-operate with the Illuminating Engineering Society (a number of whose members already act on the Commission). The Commission has hitherto confined itself mainly to photometrical questions, but there are many other matters in connection with illumination which would benefit greatly by systematic and impartial research, and I hope that, by this system of co-operation with other bodies interested, these questions might well be considered. [In passing I should also like to point out the desirability of arranging the time and place of meetings of these various Congresses so that they can conveniently be attended in succession. There are many events which engineers would like to see grouped together in this way so that they can devote a certain time to the gathering and conveniently attend the various meetings on a single visit instead of being obliged to go to several countries at different periods in the year].

In conclusion I may perhaps summarise a few of the points touched upon in this paper which I regard as of chief importance.



1) There is a general recognition that the subject of illumination should be studied from a number of different standpoints, engineering, architectural, medical etc.; *the question of the best method of applying light*, apart from the manufacture of lamps and illumination, is now receiving increased attention. Societies have been established in Great Britain and in the United States for the impartial study of these problems and the time now seems ripe for the organisation in various countries of more complete courses of instruction in illuminating engineering.

2) During the last few years there has grown up a desire on the part of representatives of gas and electric lighting for common action on many matters, especially as regards the symbols and nomenclature of illuminating engineering, and the best methods of measuring light and illumination. This desire is not merely a local manifestation, but is of an international character. The time now seems ripe for co-operation so as to secure a common international understanding on these questions.

3) It is therefore desirable that the different Commissions and bodies interested in illumination, which have hitherto worked on separate lines, should be brought into contact with a view to concerted action. In this way uniformity in methods would be secured and the results of researches in different countries rendered comparable one with another.

4) The subject of illumination is assuming a prominent position in the field of industrial hygiene. Methods of lighting have a direct bearing not only on the eyes but also upon general health, and the conditions of illumination have also an important bearing on the quality and output of work in factories. What is now needed is to determine the correct amount of illumination for various purposes, so that some tentative standard of good lighting may be arrived at and the study of illumination placed on a more scientific basis.

I trust therefore that this Congress may be the means of stimulating impartial and international work in these directions on the part of the different countries participating, and I need not say that the Illuminating Engineering Society which I have the honour to represent, would be only too pleased to render assistance.

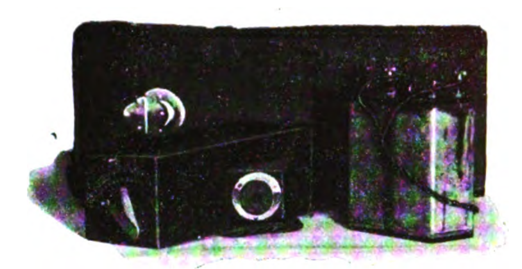


Fig. 1.

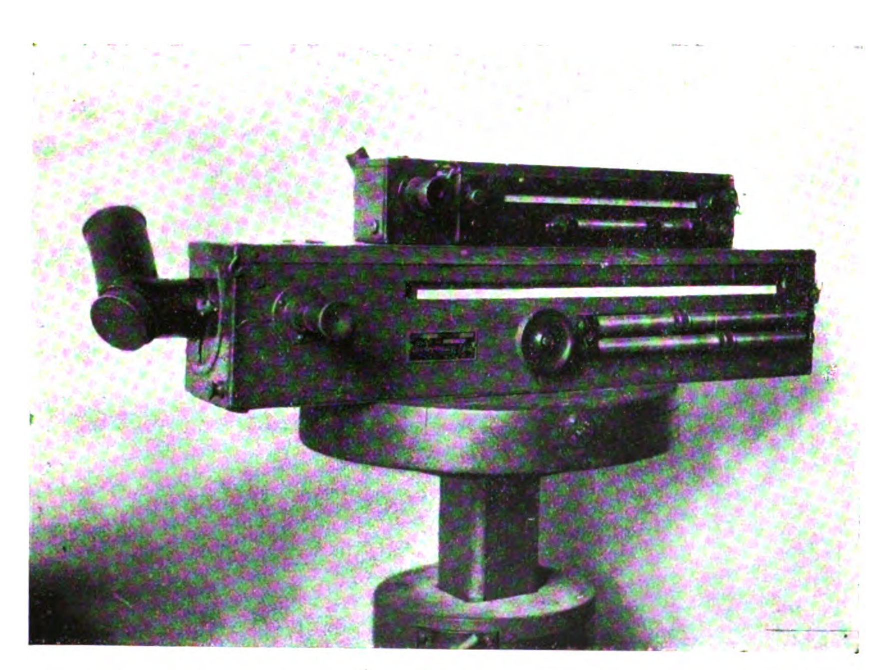


Fig. 2.

Montrant les dimensions relatives du premier et du second modèle.

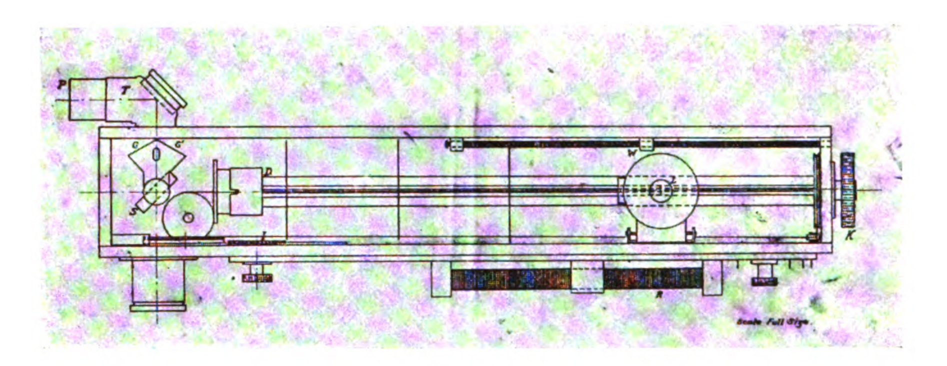


Fig. 3.

Plan du modèle réduit montrant les détails caractéristiques.

P Tube renversable portant la plaque d'épreuve et le diagramme. — T Tube coudé. — G et G' Écrans absorbants. - S Écran photométrique. — D Disque de diffusion. — I Interrupteur du circuit téléphonique. — L Chariot de la lampe étalon. — R Rhéostat. — W Curseur du fil de résistance du pont. — K Bouton de commande du chariot de la lampe.

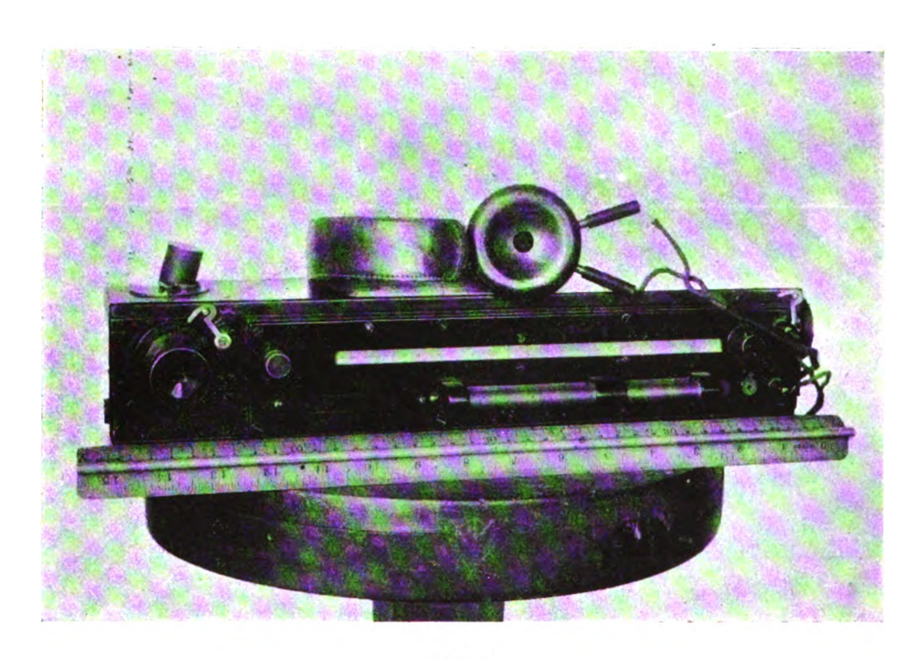


Fig. 4.

Photomètre modèle réduit
montrant le récepteur téléphonique employé pour le réglage de la lampe étalon.



Fig. 5.

Montrant l'emploi du photomètre avec disque mobile indépendant.

TABLE I.

The Nomenclature of Photometrical Quantities and Units.

(Recommended at the International Electrical Congress in 1896 and subsequently adopted in Germany both by the Verband deutscher Elektrotechniker and the Verein von Gas und Wasserfachmännern).

Quantities			Units	
Term		Symbol	Term	Symbol
Lichtstärke . . .	Light Intensity . . . . / Intensité Lumineuse .	J	Candle (Hefnerkerze)	HK
Lichtstrom . . .	Flux of light . . . . . / Flux lumineux	$\varphi = J\,\omega = \frac{J\,S}{r^2}$	Lumen	Lm
Beleuchtung. . .	Illumination . . . . . . / Eclairement	$E = \frac{\varphi}{S} = \frac{J}{r^2}$	Lux or Candle-metre (Metrekerze) . . .	Lx
Flächenhelle * .	Intrinsic Brilliancy or Surface Brightness / Éclat intrinsèque	"e" $= \frac{J}{S}$	Candles per squ. cms. (Kerze auf 1 q. cm).	—
Lichtabgabe. . .	Output of light ? . . . / Lumière émise	$Q = \varphi\,.T.$	Lumen-hour (Lumen-stunde)	—

* As explained previously an alternative method of expressing surface brightness has been suggested by L. Weber and used by some authorities in England. It is as follows:

$$\text{Surface Brightness} = \varrho E = \frac{\varrho \cdot J}{r^2} \text{ footcandles,}$$

ϱ being the coefficient of reflection of the surface illuminated.

TABLE II.

The Nomenclature of Photometrical Quantities and Units.

(Tentatively suggested at the Convention of the Illuminating Engineering Society, U. S. A., held at Baltimore 1910).

Photometric magnitudes	Name of unit	Equation of definition
1. Intensity of light or strength of luminous source	(International) candle	$I = \frac{dF}{d\omega}; I_s = fI$
2. Luminous flux	Lumen	$F = 4\pi I_s; F = I\omega$
3. Illumination * } Specific flux or flux density. .	$\frac{\text{Lumens}}{\text{cm}^2}$ or $\frac{\text{Millilumens}}{\text{cm}^2}$	$E = \frac{Fi}{S} = \frac{I}{r^2}$
	$\frac{\text{Lumens}}{\text{cm}^2}$	$R = \frac{Fe}{S} = mE$
4. Specific radiation } Brightness	$\frac{\text{Candles}}{\text{cm}^2}$	$f = \frac{I}{S^1 \cos e}$
5. Specific intensity } Brightness		
6. ———	Lumen-tours or lumen-seconds	$Q = FT$

Internat. candle abbreviated to C.	r is distance from light source in centimetres.
Internat. lumen abbreviated to L.	m is co-efficient of reflection or radiation ($1 - m =$ absorption).
Hefner unit abbreviated to HK, as now used in Germany.	S is an area in square centimetres.
f is the spherical reduction factor of a light source.	e is an angle of emission.
ω is a solid angle = area on a sphere subtending the angle square of radius.	i is an angle of incidence.

[1] S refers to surface seen from the point at which I is taken.

(*) No decision recorded as to whether « lux » or « foot-candle » should be adopted.

TABLE III.

Physical and Practical Characteristics of Sources of Light.

(A. Blondel, Illum. Eng. London, Vol. IV, 1911, p. 265).

$J\Phi$	=	MEAN SPHERICAL LUMINOUS INTENSITY, expressed in international candles *.
J_r	=	MEAN HORIZONTAL LUMINOUS INTENSITY, expressed in international candles.
$e_{max.}$	=	INTRINSIC BRILLIANCY (Éclat intrinsèque) measured in the direction of maximum intensity and expressed in international candles per sq. cm.
P	=	POWER CONSUMED by a source (**) expressed in watts (a portion of which is dissipated by radiation, and the remainder by conduction and convection).
$\frac{P\Phi}{J}$	=	POWER CONSUMED PER CANDLE (or specific consumption of power), espressed in watts per international spherical candle.
$R = \int_0^\infty R\lambda \, d\lambda$	=	TOTAL POWER RADIATED by a source, expressed in watts (R. is the power emitted by a source in the form of radiation of wave-length comprised between 0 and ∞.
$R_e = \int_{\lambda=0.4\mu}^{\lambda=0.8\mu} R\lambda \, . \, d\lambda$	=	AVAILABLE USEFUL POWER for lighting purposes, expressed in watts (radiation comprised between the limits of wave-length $0.4\,\mu$ and $0.8\,\mu$).
$\frac{R_e}{R}$	=	RATIO BETWEEN THE USEFUL POWER AVAILABLE FOR LIGHTING PURPOSES, and the TOTAL POWER RADIATED (or radiant efficiency).
$\frac{R_e}{P}$	=	RATIO of the USEFUL POWER AWAILABLE for lighting Purposes and the TOTAL POWER CONSUMED by a source.
$\frac{R_e}{J\Phi}$	=	MECHANICAL EQUIVALENT OF LIGHT, expressed in watts per int. candle.
Q	=	TOTAL HEAT DISSIPATED PER HOUR, expressed in gramme-calories.
$\frac{Q}{J\Phi}$	=	TOTAL HEAT DISSIPATED PER HOUR, PER CANDLE, expressed in gramme-calories per candle.

(*) The symbol is furnished with a horizontal projecting bar to avoid all confusion; either with a zero or with an *e*.

(**) This power or energy consumed per second by the source of light can be calculated, for flame sources, by multiplying together the quantity of combustible burned per second by the calorific heat and the energy equivalent of the calorie.

RÉSUMÉ

Les trois ou quatre années qui viennent de s'écouler nous ont offert un remarquable développement des différentes formes de l'éclairage électrique. Il n'y a que bien peu de temps encore que le choix entre les systèmes pratiquement utilisables était strictement limité, aujourd'hui les types de lampes offertes au public, non seulement sont notablement augmentés, mais, parallèlement au progrès des appareils qui servent à l'éclairage, le mode d'emploi et de distribution de la lumière artificielle s'est perfectionné presqu'aussi rapidement.

Il est remarquable, en outre, que les progrès signalés n'ont pas été le privilège d'une nation particulière; on a pu les observer dans les principales contrées de l'Europe aussi bien qu'aux États-Unis, de sorte que la technique de l'Éclairage peut être legitimement considérée comme une science internationale.

Il semble donc devenu fort important que des méthodes uniformes soient acceptées et adoptées par les différentes Nations pour comparer entre eux les divers systèmes d'éclairage artificiel. Au point de vue de leur prix de revient, de leur intensité, de leur couleur, de leur distribution pratique; d'autres problèmes, tels, par exemple, que les meilleures méthodes de mesure de l'éclairage, ou, encore, de la quantité de lumière requise dans les différents et si variés locaux industriels, font vivement désirer un accord de vues entre toutes les Nations.

L'étude des problèmes pratiques de l'éclairage a donné naissance, en 1906, aux États-Unis, à la Société d'Éclairage Technique, laquelle s'est développée avec une telle rapidité, qu'elle compte actuellement plus de 1500 membres. On doit à son initiative l'organisation d'une série de Conférences où des spécialistes autorisés furent invités à parler sur le sujet qui les occupe plus particulièrement. Ces Conférences eurent lieu aussitôt après la dernière Convention de Baltimore, en 1910, et embrassèrent, avec le développement de l'éclairage au gaz, à l'électricité, à l'acétylène, etc., traités avec la plus parfaite impartialité, le problème psychologique de l'éclairage et ses aspects architectoniques, la mensuration pratique

de la lumière et de l'éclairage, les aspects commerciaux de l'éclairage technique, etc.

La Société d'Éclairage Technique de la Grande Bretagne fut fondée en 1909 et eut le Professeur S. P. Thompson D. Sc., F. R. S., pour premier Président. Un caractère important de cette Société lui est conféré par ses rapports intimes avec presque toutes les Autorités, en matière d'éclairage, du Continent et des États-Unis, qui lui appartiennent à titre de Membres correspondants. Pendant la dernière session, la Société Anglaise s'est, en quelque sorte, spécialisée dans l'étude de l'éclairage des écoles et des bibliothèques, a accueilli la coopération d'autres Sociétés spécialement intéressée dans cette question, et, avec leur collaboration. a institué des Comités pour appliquer les décisions prises à la suite des discussions.

L'éclairage des ateliers et des usines préoccupe beaucoup l'opinion publique. La Société d'Éclairage Technique s'est fait représenter au second Congrès International des Maladies professionnelles, tenu à Bruxelles, l'année dernière, sous le patronage du Gouvernement Belge. Dans cette importante réunion, plus de 600 délégués étaient présents, dont plusieurs envoyés par leurs propres gouvernements. et de très intéressants rapports furent présentés sur l'éclairage des usines et des ateliers. Les conclusions des discussions sur ce sujet montrèrent la nécessité d'insister fortement pour un éclairage suffisant dans tous les locaux où fonctionnent des machines dont le voisinage peut être dangereux pour l'ouvrier qui les approche; un éclairage insuffisant fut reconnu la cause fréquente d'accidents.

Le Comité Départemental de la Grande Bretagne pour les accidents dans les usines et les ateliers, qui vient de publier son Rapport, partage entièrement cette opinion. Après avoir énuméré les nombreux cas où un éclairage imparfait a donné lieu à des accidents de gravités diverses, le Rapport conclut en conseillant que " les inspecteurs soient doués de pouvoirs effectifs et suffisants pour réclamer un éclairage convenable dans tous les locaux où l'on fait travailler et dans tous ceux où le manque d'éclairage peut être une cause de danger pour les ouvriers qui l'occupent ".

Il faut ajouter que les derniers rapports de l'Home Office de la Grande Bretagne font, de l'éclairage des ateliers, l'objet de commentaires spéciaux; mais, dans cet ordre d'idées, ce qui, jusqu'à ce jour, a été fait de véritablement important, c'est la constitution, par le Gouvernement Français, d'une Commission composée des principaux oculistes, ingénieurs-gaziers et électriciens, inspecteurs de fabriques, etc., qui aura pour mission spéciale d'étudier les besoins de l'éclairage industriel et d'essayer de déter-

miner les types d'éclairage qui conviennent le mieux aux différents usages. Cette Commission devra chercher, en outre, les meilleures méthodes de mesure relatives à la lumière et à l'éclairage, et étudiera l'influence d'un éclairage insuffisant sur la vue et le problème hygiénique de l'éclairage considéré dans son ensemble.

*Un autre sujet de discussions à été celui de l'éclairage des voies publiques. La Grande Bretagne et les États-Unis ont envoyé récemment des députations dans les pays continentaux pour y étudier les systèmes en usage; en Angleterre, un Comité des deux Nations, appuyé par les Membres des Associations du Gaz, par les Ingénieurs Électriciens, par la Société d'Éclairage Technique et par l'*Association of Municipal and Comity Engineers, *travaille à l'établissement d'un type unique (Standard) en fait d'éclairage public.*

Tous ces exemples démontrent combien d'efforts sont tentés actuellement pour établir l'éclairage sur une base scientifique. Ce qu'on a pu faire jusqu'ici dans cette voie est dû spécialement aux progrès récemment réalisés dans l'art de mesurer l'éclairage. Nous possédons actuellement une variété d'instruments construits pour cet usage, et, pour légitime qu'il soit d'espérer prochaînement de plus grands progrès, la mensuration de l'éclairage, on peut le dire, est déjà tout-à-fait pratique. Il serait seulement désirable qu'on s'entendît une bonne fois sur la meilleure manière de faire ces mesures, et qu'on s'y tînt, afin que les recherches des divers investigateurs sur les questions d'éclairage pussent être comparables.

Pour la même raison, il serait à souhaiter qu'on employât autant que possible des unités et des symboles communs. On a fait un grand pas dans cette voie en adoptant une unité lumineuse commune en Angleterre, en France et aux États-Unis. Cette unité est dans un rapport simple avec celle de l'Allemagne, de la Suisse et de l'Autriche-Hongrie, qui est la lumière de la lampe Hefner (une bougie Hefner = 0.9 d'une bougie internationale). Il est permis d'espérer qu'avant peu une seule et même unité sera adoptée par toutes les Nations civilisées.

La question de la nomenclature et des symboles est considérée comme fort importante par la Commission Électrotechnique internationale et, par conséquent aussi, par la Société d'Éclairage Technique qui représente tous les différents systèmes d'éclairage, et est, en outre, internationale par définition et par dessein.

D'excellente besogne a été faite dans ce champ par la Commission Photométrique Internationale qui vient de tenir sa troisième réunion à Zurich. On a remarqué avec plaisir que la Commission travaille à amender sa constitution de façon à se rendre plus réellement internationale et à re-

présenter les divers systèmes d'éclairage; on pourrait suggérer encore qu'une association, à titre quelconque, instituée entre ce corps et la Société d'Éclairage Technique deviendrait aisément le centre d'un Comité International permanent qui s'occuperait à la fois des questions de photométrie et des autres problèmes d'intérêt général concernant l'éclairage.

La Commission Photométrique Internationale, on peut l'observer, ne se réunit encore que tous les quatre ans; mais grâce à la coopération de sous-comités dans divers pays, il lui serait facile de se réunir plus souvent. Ce qui manque, c'est un moyen de centraliser les travaux accomplis indépendemment les uns des autres par des corps opérant dans différentes directions et ouvrant ainsi la voie à de futures confusions. Si tous ces efforts isolés pouvaient être concertés une bonne fois sous l'égide d'une seule autorité reconnue, on arriverait aux plus heureux résultats; je suis persuadé que la Société d'Éclairage Technique de Londres, que j'ai l'honneur de représenter à ce Congrès, serait très heureuse d'apporter son concours à un effort ainsi dirigé.

DISCUSSION

M. L. Gaster (London) *soumet ensuite à la section un appareil employé pour exécuter des mesures d'illumination d'une manière simple, très rapide, mais cependant assez exacte.*

Le " Lumeter Holophane „ est un petit instrument portatif ayant pour but de mesurer l'illumination. La figure ci-jointe donne une idée de l'aspect général de l'instrument. A l'intérieur se trouve une petite lampe à incandescence de 4 volts, alimentée par un petit accumulateur portatif. Le tout se loge dans un écrin que l'on peut porter avec autant de facilité qu'un petit appareil de photographie.

La lampe est placée dans un tambour peint intérieurement en blanc d'où elle éclaire une fenêtre en verre opale. Ce verre, à son tour, illumine l'écran photométrique au centre duquel se trouve une ouverture par où l'on observe l'objet dont on désire mesurer la clarté. En ajustant la surface exposée de la fenêtre au moyen d'obturateurs, on peut faire varier l'illumination de l'écran à volonté; cette illumination se lit sur un cadran gradué jusqu'à un " foot-candle „ (approximativement 11 Lux). Pour prendre une observation, il suffit de regarder par l'oculaire et d'ajuster l'illumination sur l'écran photométrique jusqu'à ce que la clarté de celui-ci soit la même que celle de l'objet observé; on lit sur le cadran cette clarté en " foot-candles „. On peut ainsi lire des valeurs aussi faibles que $^1/_{20}$ de " foot-candle „ et au moyen de verres absorbants, il est possible d'obtenir des valeurs jusqu'à 100 " foot-candles „. En employant l'instrument de cette façon, on mesure la " clarté superficielle „ d'un objet quelconque, même si celui-ci est à une certaine distance (tel qu'un papier peint, une affiche illuminée, ou une partie d'un panorama); ces indications ont été utiles pour déterminer la pose en photographie.

Si, au contraire, on emploie l'écran préparé en celluloïd dépoli joint à l'appareil, on peut mesurer l'illumination en un point donné; un grand nombre de résultats ont déjà été obtenus à Londres dans les écoles, les bibliothèques, les usines, les chemins de fer, etc. Avant de se servir de

l'instrument on l'ajuste au laboratoire de façon à lire juste. Si jamais il variait, il serait très facile, en réglant convenablement la position de la lampe dans le tambour, de le rendre juste de nouveau.

[*La mesure d'un " foot-candle „ est approximativement égale à onze " Lux „ (ou bougie-mètres)*].

M. C. H. SHARP (New York) *présente, comme il suit, un appareil du même genre, qu'il juge plus précis et pratique que celui présenté par M. Gaster.*

Le but visé par cette nouvelle construction du photomètre universel de Sharp-Millar, instrument très répandu aux États-Unis et fort apprécié pour les mesures d'éclairage et les mesures photométriques, était de réaliser un instrument plus portatif que l'ancien type, sans rien sacrifier d'essentiel au point de vue de l'exactitude de ses indications. Le modèle déjà connu mesure environ 65 centimètres de longueur sur 11×11 centimètres carrés de section. Dans le nouveau modèle, on a cherché à diminuer considérablement ces dimensions, tout en restant très fidèle aux principes de construction qui se sont révélés si parfaitement effectifs dans l'instrument antérieur.

Le nouvel appareil est renfermé dans une boîte de 37 centimètres sur 6,5 et 6,5 cm. L'écran photométrique et ses accessoires sont placés à l'une des extrémités de cette boîte. L'écran S est un disque circulaire en verre mince, argenté sur sa face postérieure; un petit trou dans la couche d'argent est réservé en clair au centre du disque.

L'écran ou miroir décrit est disposé de façon à faire un angle de 45 degrés avec l'axe de la boîte; on l'examine à l'aide d'une lentille fixée à l'extrémité de la boîte. Au bout opposé, et derrière le miroir, est pratiquée une ouverture dans laquelle est ainsi ajusté un tube coudé T; au coude du tube, et faisant avec son axe un angle de 45 degrés, est disposé un miroir; l'extrémité extérieure du même tube est close par une plaque d'épreuve P en verre mat qui peut occuper tel angle jugé nécessaire avec l'horizon, et qui sert aux mesures d'éclairage. Ce tube coudé s'enlève à volonté.

Dans l'axe de la boîte, et placé de façon à être réfléchi par le miroir de l'écran photométrique, se trouve un tube portant un disque D en verre dépoli.

La lampe-étalon L, qui est une lampe miniature à filament de tungstène, est montée sur un support se mouvant horizontalement dans une rainure et se trouve en partie cachée par une cape en métal ne laissant arriver le rayon lumineux que dans la direction du disque en verre dépoli. Cette lampe et sa cape se déplacent le long de la rainure au moyen d'une corde passant dans la gorge d'une poulie, à l'extrémité de la boîte, et recevant le mouvement par l'entremise d'un bouton placé à l'extérieur

de cette boîte. Des écrans mobiles sont disposés à l'intérieur de la boîte et servent à empêcher que la lumière réfléchie par ses côtés n'atteigne l'écran en verre.

L'échelle, graduée en unités d'éclairage (c'est-à-dire en Lux), est fixée sur la face antérieure de la boîte; la lampe-étalon l'éclaire par transparence et permet d'en distinguer les divisions; quand il n'est pas nécessaire d'effectuer les lectures, un écran se rabat sur l'échelle et la couvre. La portée de l'instrument est augmentée au moyen de deux verres absorbants G et G', de façon que, pour une échelle donnant des lectures depuis 4 mètres-bougie jusqu'à 200 mètres-bougie, ces verres étendent la portée de 0.04 mètre-bougie à 20,000 mètres-bougie, toujours avec la même valeur de la lampe-étalon. Une telle portée répond à toutes les exigences de la pratique courante.

On sait que le pouvoir éclairant de la petite lampe-étalon suit très exactement les variations du courant qui l'alimente et change très rapidement avec elles; il en résulte que l'exactitude des indications du photomètre dépendra très étroitement des moyens qu'on emploiera pour maintenir ce courant dans les limites voulues d'intensité. Il n'y a point à se fier pour cela à la constance de la tension de l'accumulateur d'alimentation et l'on a dû chercher autrement à lui conserver sa régularité de débit; voici comment on y est arrivé d'une manière satisfaisante:

La lampe est montée de sorte qu'elle constitue l'un des bras d'un pont de Wheatstone dont les deux autres sont en fil " manganin „ convenablement disposé à l'intérieur de la boîte. Le pont est mis au point à l'aide du curseur mobile W de façon que, la lampe donnant l'intensité lumineuse requise pour une lecture directe de l'instrument, le Wheatstone se trouve en parfait équilibre. Comme le filament de tungstène est doué d'un coëfficient calorifique très élevé, la plus légère variation de l'intensité du courant altère cet équilibre, ce qui est aussitôt indiqué soit par un petit galvanomètre, soit, comme dans le dessin, par un téléphone. Monté en série avec le téléphone, se trouve un interrupteur I formé par une roue dentée que l'on meut à la main et qui fait entendre dans le téléphone une suite de " crepitments „ jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Un rhéostat R, fixé sur le devant de la boîte, est monté en série avec l'ensemble des accessoires du pont et permet d'ajuster le courant à l'intensité convenable. Ce dispositif est à la fois très sensible et fort commode à transporter. Le courant pour la lampe peut être fourni soit par un seul élément d'accumulateur, soit par deux piles sèches ordinaires. Pour aider aux manœuvres, les récepteurs téléphoniques se portent sur la tête, maintenus au moyen d'un bandeau. De cette façon l'opérateur a les deux mains libres.

Les mesures d'éclairage s'effectuent soit à l'aide de la plaque d'épreuve P qui se trouve à l'extrémité du tube coudé, au moyen d'un disque dépoli mobile qu'on peut placer dans telle position jugée nécessaire; ce disque s'emploie de préférence quand il s'agit de mesurer l'éclairage de localités relativement inaccessibles. Pour l'usage de ce disque, on enlève tout à fait le tube coudé pour mirer directement la plaque d'essai à travers l'instrument que l'on peut, dans ce cas, tenir aisément à la main. On fait de cette manière des mesures d'intensité spécifique ou d'éclat de surfaces quelconques. Les mesures d'intensité lumineuse s'effectuent en plaçant la lampe à mesurer à une distance connue de la plaque d'épreuve.

On étalonne l'instrument en plaçant une lampe d'intensité lumineuse connue à une distance donnée de la plaque d'épreuve; on obtient ainsi sur cette plaque un éclairage dont on connaît la valeur; on règle ensuite le courant dans la lampe-étalon de façon que la lecture sur l'échelle du photomètre soit exactement égale à la valeur connue de l'éclairage de la plaque d'épreuve; on manœuvre ensuite le rhéostat du pont de Wheatstone jusqu'à ce qu'on ait atteint le parfait équilibre. La lampe-étalon de l'appareil ayant été soigneusement mise au point, conserve bien son pouvoir éclairant, comme la pratique le démontre. On peut sans préjudice ne refaire l'étalonnage qu'à des intervalles de temps relativement espacés.

Ce photomètre ne dépasse guère la longueur d'un appareil photographique portatif ordinaire; il a été construit de façon à n'offrir aucune cause propre d'erreur; dans les limites que concède la finesse des traits gravés sur l'échelle et la délicatesse de réglage du courant (ce dernier est évalué à un milliampère environ près), ses indications sont parfaitement correctes. On peut donc dire qu'il joint à l'exactitude la facilité d'un transport commode et se prête à une grande étendue d'applications.

RÉSULTATS PRATIQUES

d'une installation de lampes à arc sur haute tension

(6300 Volts).

Ing. ADOLFO HESS (Torino).

En 1903 j'apportais en Italie les premières lampes à filaments métallique ; c'étaient les lampes " Osmium „ de la Société Auer de Vienne, à la fabrication desquelles j'avais eu la chance d'assister, grâce à l'amabilité du Directeur de cette Société.

La consommation de 1,5 W/Bougie nous paraissait absolument extraordinaire, et à ce même moment l'avenir des lampes à arc nous parût bien compromis.

En effet à cette même époque commencèrent les essais relatifs à la construction des lampes à arc plus perfectionnées au point de vue du rendement.

Ce problème m' intéressa aussi, et à la fin du 1904 je présentais au " Polytechnique „ de Vienne une lampe à arc avec charbons introduits dans un manchon pour bec de gaz Auer. Par ce dispositif j'obtiens une lumière très tranquille et brillante, mais les essais photométriques faits à Turin, à l'école Polytechnique, ne furent pas très satisfaisants au point de vue du rendement. Mes essais en restèrent là, soit parce que mes occupations ne me permirent d'y dédier plus de temps, soit parce que peu de temps après vinrent les lampes à effet avec charbons métallisés, qui améliorèrent remarquablement le rendement des lampes. Aujourd'hui nous avons des lampes à effet consommant 0,15 W/Bougie.

Après les perfectionnements des lampes, on songea aussi à

perfectionner et à simplifier leur installation, et l'on essaya de réaliser le montage en longues séries, dans le but de diminuer le poids du cuivre, et de semplifier l'installation et le service. A plusieurs reprises on installa en Allemagne, France et Amérique du Nord des lampes sur 2000-2500 volts, en séries de 40-50 lampes.

Les résultats furent satisfaisants.

Au commencement du 1910 j'entrai en pourparlers avec le Directeur de la " Regina Elektricitäts Gesellschaft „ de Cologne, et nous fîmes l'estimation d'une installation de lampes à arc à l'Exposition de Turin, sur 6000 volts.

Mais lorsque je fis cette proposition au Comité de l'Exposition, j'avoue que les techniciens ne se montrèrent pas trop favorables; il y eut même des polémiques dans quelques périodiques spéciaux en Allemagne, et quelqu'un déclara tout court qu'une installation semblable ne pourrait jamais fonctionner. Je ne fus donc pas étonné des difficultés soulevées tout d'abord par le Comité de l'Exposition, pas plus que je ne le fus un an après environ, du changement d'opinion survenu chez les mêmes personnes techniques, une fois que le système donna des résultats satisfaisants; c'est le sort de toutes les choses de ce monde, spécialement des idées nouvelles; le succès est souvent une justification suffisante aux yeux des humains!

Et aujourd'hui il ne nous paraît pas non plus avoir fait quelque chose d'extraordinaire; les incertitudes et les ennuis de la période de préparation et d'essai, sont oubliés!

Je ne me dissimule pas que plusieurs détails pourront être perfectionnés le jour où il s'agira d'une installation fixe; notre installation a un caractère provisoire, et le mauvais état du quai, ainsi que le delai très limité que nous avions pour les travaux, et le temps abominable pendant les travaux mêmes, nous empêchèrent peut-être d'atteindre au dégré désiré de perfection; le système fonctionna tout de même depuis cinq mois à notre entière satisfaction.



Les conditions indispensables à un bon fonctionnement peuvent se résumer dans les quatre principes suivants:

1. Avoir une bonne lampe à régulation mécanique, indépendante de toute variation brusque de tension et d'intensité;

2. Prévoir les appareils nécessaires pour que toute la série

ne puisse s'éteindre par suite d'un défaut quelconque d'une des lampes;

3. Employer un bon appareil de déclanchement, pour permettre de baisser les lampes, même pendant le service;

4. Pourvoir à un bon isolement des parties sous tension entre elles mêmes et par rapport à la terre; prévoir une mise à la terre appropriée au système pour éviter tout danger pour les personnes.

A la première condition la lampe *Conta* de la Regina Elektricitäts Gesellschaft, de Cologne, que je vais vous décrire en peu de mots, a parfaitement répondu.

La lampe *Conta* se compose d'un bâti (G) qui sert de guide au porte-charbons dans son mouvement vertical. Au moment de la mise en circuit, le courant passe d'abord par la bobine A, enroulée de gros fil, traverse le souffleur magnétique M et le rhéostat O placé dans la lampe, arrive ensuite à la partie supérieure du charbon oscillant S, puis, à travers l'arc, au charbon fixe P, pour sortir enfin de la lampe par la seconde borne.

Au centre de la bobine A se trouve un noyau de fer attiré de bas en haut par le passage du courant. Ce mouvement, transmis par la tige B, le levier coudé C, la coulisse d'allumage J, a pour effet de faire basculer le charbon d'allumage oblique, dont la pointe s'écarte alors de celle du charbon freiné, en produisant l'arc.

La lampe reste dans cette position tant que le courant passe. La descente progressive des charbons se produit alors automatiquement.

Le charbon freiné, qui règle cette descente, s'appuie à sa partie inférieure sur le bras incombustible K du levier de frein, articulé en D et dont la partie supérieure E vient faire serrage sur le charbon au-dessus du plateau de la lampe (système breveté). Tant que la moindre pression s'exerce sur le bras K, le charbon P se trouve freiné solidement par la partie E du levier. Au fur et à mesure de la combustion ce frein se desserre et les charbons descendent légèrement jusqu'à ce que, revenant en contact avec le levier K, le frein E se reserre de nouveau. Il ne peut pas se produire de rupture brusque de la pointe du charbon.

La lampe *Conta* se règle donc d'elle-même; c'est une lampe sans mécanisme, à réglage automatique absolument sûr.

Selon la tension du réseau, on peut monter la lampe *Conta* en dérivation ou en série jusqu'à 100 lampes et plus, étant

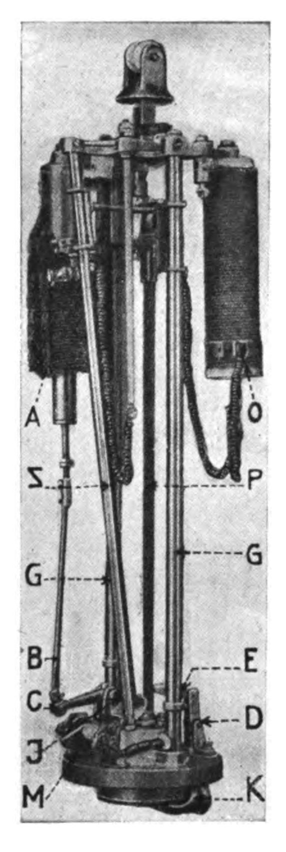


Fig. 1.

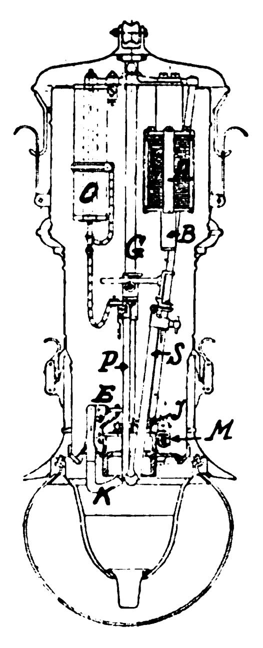


Fig. 2.

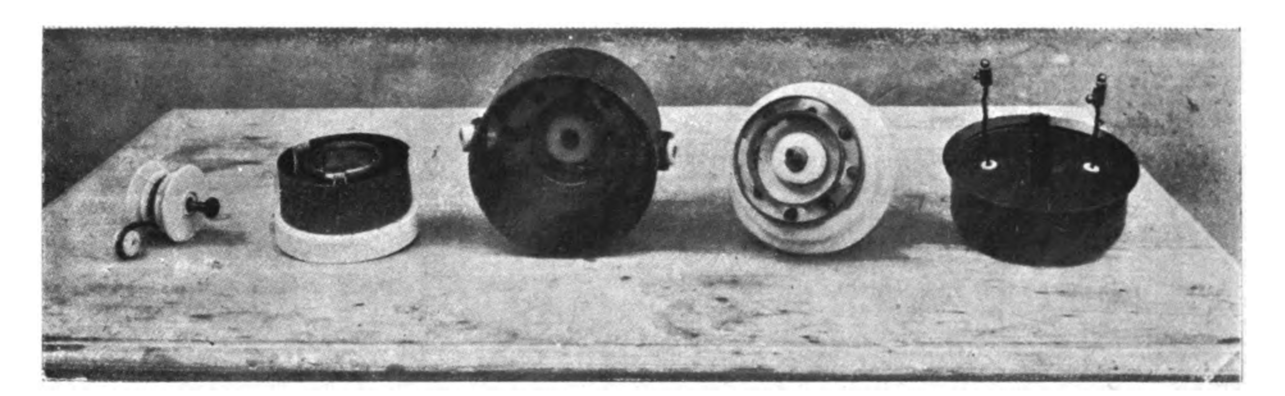


Fig. 3.

donnée la constance du voltage de l'arc et sa longueur invariable.

Les rhéostats de substitution ou bobines de self de substitution ne s'emploient, dans le montage en série, que si l'on veut empêcher l'extinction des autres. Jamais on n'a besoin de ces appareils accessoires pour la protection de la lampe elle-même.

Avec la lampe *Conta* on n'emploie pas de charbons de forme spéciale, mais des charbons ronds courants, minéralisés ou ordinaires: avantage inappréciable par rapport aux lampes nécessitant des charbons spéciaux.

La lampe *Conta* s'éteint d'elle-même quand les charbons sont usés. Le grillage du porte-charbons est impossible.

Le corps de la lampe est séparé de l'arc d'une manière étanche.

Les plaques de guidage des charbons embrassent ceux-ci hermétiquement de façon à garantir une fermeture d'autant plus absolue que la position des charbons est invariable. Il en résulte qu'il ne se produit pas d'encrassement, point très important pour la durée de la lampe elle-même.

La seconde condition est parfaitement réalisée par les résistances de self, installées en dérivation sur chaque lampe. Pendant le fonctionnement, une petite partie du courant passe à travers les résistances; ce courant à été vérifié dans plusieurs essais égal à 1,5 amp. environ.

Il est intéressant d'établir le graphique de la variation d'intensité dans les résistances et dans les lampes en fonction des variations de tension du réseau. J'espère pouvoir donner, sous peu, plus de détails à ce sujet.

Pour satisfaire à la troisième condition la Maison a réalisé un appareil de déclanchement, constitué par une cloche en fonte portant à l'intérieur la moitié supérieure de l'appareil de contact (en porcelaine avec bagues de contact en laiton) et d'une partie inférieure mobile, portant la lampe soutenue par une corde métallique, manœuvrée par un treuil spécial à frein automatique.

Cet appareil de déclanchement est le " point délicat „ du système! On a dû le reconstruire et modifier plusieurs fois, afin d'obtenir un fonctionnement parfait, surtout au point de vue de l'isolement par rapport à la terre.

Toutes les parties du *Système* ont été mises à la terre, en les connectant avec l'armature des câbles souterrains.

L'installation de l'Exposition comprend 240 lampes de 10 ampères et 250 bougies en deux séries de 120 lampes chacune. La distribution du courant est faite à l'aide d'environ 5 kilomètres de câbles souterrains, avec isolement en papier, armés d'acier, et montés sur les poteaux qui portent deux lampes chacun. Une lampe se trouve à environ 6 mètres de hauteur; l'autre se trouve en haut du poteau à environ 15 m. de hauteur; les connexions et les dérivations aux lampes supérieures sont faites avec des câbles non armés, isolés au caoutchouc (Les câbles sont de la Maison Tedeschi de Turin).

Les liaisons entre les câbles souterrains et les câbles aériens ont été faites avec des manchons spéciaux en caoutchouc, remplis de compound.

Les résistances de self sont placées sur isolateurs à haute tension, à une hauteur d'environ 6 m. sur les poteaux.

Nons avons calculé que la même installation, faite avec les anciens systèmes à basse tension, aurait coûté environ 60 francs de plus par lampe relativement au compte du cuivre employé.

Dans la cabine centrale nous avons installé:

3 coupe-circuits h. t.;

1 interrupteur automatique p. courant maximum;

2 „ à main, dans l'huile pour les deux circuits;

2 rhéostats de réglage, un pour chaque circuit, pour le démarrage des lampes;

1 voltmètre et deux ampèremètres.

Le service des lampes, c.-à.-d. le remplacement des charbons, a été confié à deux ouvriers; un monteur de la Regina E. G. eut la charge des réparations, et un monteur le service de la cabine.

Chaque soirée de 4 heures nous coûta environ 30 francs de charbons et 30 fr. de service, soit 60 francs d'entretien.

Tout ce que je viens de dire démontre avant tout que le système des longues séries ne connaît pas des limites; même si dans l'illumination des villes l'on ne voudrait pas aller à des tensions aussi élevées, cette installation prouve tout au moins la sûreté du système lui-même. C'est pourquoi le Jury international a crû devoir concéder à notre installation le Grand Diplôme d'Honneur.

DISCUSSION

M. C. A. Rossander (Stockholm) *demande si des appareils de réglage sont nécessaires, outre ceux à résistance inductive.*

M. A. Hess (Turin) *répond négativement: les lampes fonctionnèrent bien aussi avec des variations de 5900 à 6800 volts.*

THE INTERNATIONAL CANDLE

E. B. Rosa (Washington D. C.).

Until about two years ago there were different photometric units in use in Great Britain, France, Germany and America, and various attempts were made from time to time to ascertain their relative values accurately. As these units were maintained for the most part by means of flame standards, and were inter-compared sometimes by means of the flame standards themselves, and sometimes by means of incandescent lamps representing the latter, it was not surprising that the relative values found at different times differed appreciably. However, the differences between the units of Great Britain, France and America were always found to be small, and instead of continuing to maintain three units that were so nearly alike, it appeared far better to adopt the mean value of these units as a common international value, and then to maintain this common value by cooperate effort. It would be no more difficult to maintain one value than to determine frequently the differences between three, and it would be much simpler and more satisfactory to have a single unit than to have three different ones. Accordingly, the national standardizing institutions of Great Britain, France and America came to an agreement, which involved a change of 1.6 per cent in the photometric unit of America, but no change in the other countries, the measurements showing that the British Candle maintained by the Harcourt Pentane lamp, and the bougie decimale expressed by the Carcel lamp, agreed within the errors of the experiments.

The common photometric unit now maintained by the three institutions named is preserved by means of carbon filament

incandescent lamps, which have for the present the value of primary standards. The international candle has been expressed in terms of various flame standards, but as its value is known so much more accurately by means of the electric lamp standards than by the flame standards, the latter are standardized by the electric standards, instead of being used to fix the value of the latter.

It is very important indeed to keep in mind the distinction between a *unit* and a standard. A unit may be maintained by a single standard or by several. The meter and the kilogram are very successfully maintained by means of single prototype standards, and all standard meters in the world are referred to these. But the international ohm and the international volt are not maintained by such single standards, but are derived from the mean values obtained in different countries from the official specifications, each of which is a close approximation to an ideal standard.

If carbon filament lamps were much less constant than they are, or if flame standards were much more reproducible and reliable than they are, the international candle could well be maintained in much the same way; namely, by taking the mean value found from time to time in different countries, using as primary standards one or more kinds of flame standards. For example, the mean value of the candle found in England from the Pentane lamp, the mean found in France from the Carcel lamp and the mean found in America from the 45 mm. Amyl acetate lamp $\left(\text{or } \frac{10}{9} \text{ of the value found from the Hefner}\right)$ could very well be taken as the mean international candle, to be used in these three countries and such others as chose to adopt this unit. But this course is far from practicable, inasmuch as carbon filament standard lamps as now used are much more reliable, as well as far more convenient as standards, than flame standards, and the enormous labor involved in referring them back to the flame standards, if that were attempted, would be worse than wasted. Hence the carbon standards are truly primary standards, although not capable of being derived from formal specifications.

There is another unit used internationally, namely, the *Hefner unit.* In Germany, Austria and some other countries this unit is employed in commerce as generally as the candle

is employed in England or America. Approximately, this unit is equivalent to the mean horizontal candle power of any Hefner lamp that conforms to the official specifications. But it has been found at the Bureau of Standards that different Hefner lamps may differ appreciably and still conform to the official specifications. Hence if we were to attempt to fix with the highest precision the values of a group of incandescent electric lamps in Hefner units by comparison with Hefner lamps, we should have to decide arbitrarily what lamps to use and what to exclude. Of six Hefner lamps measured at the Bureau (1) in 1910, three lamps (using Hefner sights) gave a mean of 0.894 international candles, and three others (using Kruss sights) gave 0.904 international candles, a difference of a little over one per cent. There was a difference of two per cent between the highest and lowest lamp. Carbon filament lamps can be determined to one-tenth of one per cent. Hence we see a difference between the mean of two groups of Hefners ten times as great as the error of measurements of electric standards. This raises the question as to the value of the official Hefner unit. It has been agreed to take the Hefner as 0.90 of the international candle, and for most purposes in the countries using the international candle this is sufficient. But it would seem very desirable if a more precise definition for the Hefner unit than that heretofore used could be agreed upon by those countries which use the Hefner. For example, suppose that closer specifications were drawn, fixing more exactly the size and weight of the German silver wick tubes used in the lamps, and the *international Hefner unit* be defined as the mean value found at the Physikalisch Technische Reichsanstalt (and such other national standardizing institutions using the Hefner unit as would cooperate with them) when at least three lamps are used in the measurements, and each lamp conforms to the improved specifications. We could then have an *international Hefner unit* as definitely fixed as the *international candle now is,* and between intercomparisons it would be preserved by carbon filament standards.

Another way would be to agree that an international Hefner unit is 0.90 of an international candle, and have Germany,

(1) Rosa & Crittenden, *Trans*, III, Eng. Soc., Nov. 1910.

Austria and such other countries as cared to do so cooperate with Great Britain, France and America in maintaining the value of *both units*. Any Hefner lamp would then have substantially 1 Hefner unit of candlepower, but its precise value would be determined as is now done in America for both Hefner and Pentane lamps, by comparison with electric standards.

It will of course appear to any one not familiar with recent work in the preparation and standardizing of incandescent lamps as photometric standards, that they are not stable and permanent enough to be used in this way as primary standards. But an examination of recent work shows that they are far more permanent than one would suppose. There is no evidence of molecular changes in the filaments such as occurs in alloys of metals on standing. The carbon filaments in a vacuum are preserved absolutely from mechanical injury, and if any injury occurs due to burning, the change of resistance reveals it at once. At the Bureau of Standards (1) we have found that such lamps when properly seasoned and operated at constant watts (at 3.5 watts per candle) may be burned steadily for 200 hours with scarcely any change; and that for the time required for such lamps to be burned in 100 years use as reference standards they probably would not change on an average a hundredth of a candle on a 16 candlepower lamp.

What seems to the writer as still better procedure would be for Germany and all other countries that have not already done so to adopt the international candle as their photometric unit, without giving up the Hefner or any other flame standard that may be employed at present, as a *working standard.* The Hefner burned at 45 mm. gives one international candle, as nearly as we can measure. It is therefore possible to use the Hefner for all purposes of flame photometry and burn it either at 40 mm. or at 45 mm., as one chooses, expressing its value in international candles in either case.

It is of course desirable to secure international agreement and uniformity concerning photometric units as far and as soon as possible. It is very desirable that all countries that have not adopted a definite unit should adopt either the international candle or the international Hefner. If the former is adopted by

---

(1) ROSA & MIDDLEKAUFF, " Proc. Am. Inst. Elec. Engs. ", July, 1910.

a large number of countries, they would all no doubt be permitted to cooperate in maintaining the unit insofar as they were in position to do so. If all cannot agree to adopt the same unit, then a definitely maintained ratio between the two will enable one to be easily converted into the other, which is the next best thing to having a single and universally recognized photometric unit.

RÉSUMÉ

Jusqu'à ces dernières années (il y a à peu près deux ans) l'Allemagne, la France, la Grande Bretagne et l'Amérique employaient des unités photométriques différentes, représentées par des étalons à flamme et comparées entre elles au moyen d'autres étalons à flamme ou de lampes électriques à incandescence qui reproduisaient ces derniers étalons.

Bien que les valeurs relatives de ces étalons, déterminées à des époques diverses, présentassent entre elles des différences, celles-ci, pour les unités employées dans la Grande Bretagne, en France et en Amérique, furent toujours estimées très faibles; et il parut opportun, plutôt que de conserver une telle variété d'unités, d'adopter la moyenne de leurs valeurs et d'en constituer une unité internationale commune, conservée et contrôlée par les soins des intéressés.

Par suite de cette convention, les Instituts d'étalonnage de la Grande Bretagne, de la France et de l'Amérique en vinrent à un accord qui conduisit à varier de 1,6 % l'unité américaine, conservant inaltérées les unités anglaises et françaises, étant constaté que la bougie anglaise, représentée par le brûleur à pentane, et la bougie décimale, qui correspond à la lampe Carcel, sont égales dans la limite des erreurs d'observation.

L'étalon primaire de cette unité internationale est conservé par les trois Instituts au moyen de lampes à incandescence à filament de charbon. La valeur de la bougie internationale, déterminée par ces étalons, offre une précision plus grande que celle des étalons à flamme.

L'étalon à lampe à incandescence à filament de charbon est plus digne de confiance que l'étalon à flamme, et d'un emploi plus commode; au contraire, il coûterait beaucoup de temps et de peine de le rapporter à l'étalon à flamme; peines perdues, du reste, par suite de la grande difficulté de reproduire cet étalon et de lui conserver la constance indispensable.

En Allemagne, en Autriche et dans quelques autres pays c'est l'unité Hefner qui est généralement employée; elle équivaut à l'intensité lumineuse moyenne de la lampe Hefner, construite et employée suivant les prescriptions officielles.

Or, il résulte d'essais faits au Bureau of Standards que diverses lampes Hefner, construites comme l'indiquent les données officielles, ont montré des différences notables de l'une à l'autre (2 °/₀ environ entre la lampe la plus intense et celle qui l'était le moins), tandis que l'intensité d'une lampe à filament de charbon peut être fixée entre des limites de $^1/_{10}$ à 1 °/₀.

Par conséquent, la différence entre la valeur moyenne de deux groupes de lampes Hefner est dix fois plus grande que l'erreur de mesure de l'étalon électrique.

On évalue d'ordinaire l'unité Hefner à 0,90 de la bougie internationale; mais il serait à désirer qu'on donnât une définition plus minutieuse de cette unité; qu'on en décrivît avec plus de précision le mode de construction; que sa valeur fût fixée par la Physikalische Reichsanstalt (ou quelque autre Institut similaire) en comparant entre elles plusieurs lampes, dont l'intensité moyenne adoptée comme unité internationale Hefner serait conservée au moyen de lampes à incandescence à filament de charbon.

Les essais les plus récents ont démontré que les étalons électriques jouissent d'une permanence plus grande qu'on ne l'avait cru tout d'abord; on n'a trouvé, en effet, aucun indice de changements moléculaires dans leurs filaments, et, d'autre part, leur système de montage dans le vide les met absolument à l'abri de l'action des agents extérieurs.

Les recherches effectuées par l'Auteur au Bureau of Standards l'ont convaincu que des étalons conservés avec soin et alimentés sous tension constante peuvent brûler 200 heures sans manifester une altération appréciable.

Il lui semble donc que l'Allemagne et les autres pays, qui n'ont pas encore adopté la bougie internationale, devraient trouver convenable de le faire, quitte à conserver comme étalon d'usage intérieur l'unité Hefner ou toute autre unité à flamme.

Il est à souhaiter qu'on arrive à des accords internationaux pour ce qui concerne les unités photométriques, et que les pays, qui n'en ont encore aucune, adoptent la bougie internationale ou la Hefner internationale, pourvu toutefois qu'on établisse des rapports bien déterminés entre les deux unités, afin de permettre de les rapporter l'une à l'autre avec exactitude; condition, d'ailleurs, bien voisine de celle de ne posséder qu'une seule unité photométrique universellement reconnue.

ALCUNE CONSIDERAZIONI

SUGLI SPECCHI PARABOLICI PER PROIETTORI

Dott. LUIGI PASQUALINI (Firenze).

Sembra che sia opinione abbastanza diffusa e radicata che impiegandosi nei proiettori degli archi potenti, i quali dànno luogo ad un cratere molto esteso, non siano necessari degli specchi molto precisi; mentre è facile mostrare come questo modo di vedere non sia esatto, e sia invece utile cercare di conseguire negli specchi la massima precisione. Supponiamo che F e F_1 (fig. 1) sieno i due punti estremi fra i quali tutti i raggi che cadono sullo specchio parallelamente all'asse ottico vengono a tagliare, dopo la riflessione, l'asse stesso.

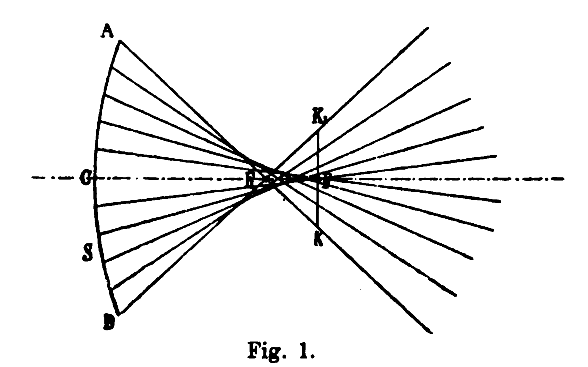


Fig. 1.

Questi raggi formano un fascio e il tratto di perpendicolare KK_1, condotto da F e intercettato dal detto fascio, è detto, da qualche autore, aberrazione laterale, perchè il cerchio di

raggio FK è il luogo geometrico per il *quale passano*, dopo la riflessione, *tutti i raggi* di luce provenienti da un punto a distanza infinita sull'asse ottico, e si asserisce essere sufficiente che questo cerchio sia tutto compreso dentro la sorgente luminosa.

Anzitutto è evidente che tutti i cerchi che hanno il centro sull'asse ottico, e che hanno per raggio il tratto di perpendicolare all'asse che resta limitato dal fascio di raggi riflessi, godono della stessa proprietà, e quindi il cosiddetto cerchio di aberrazione non è una cosa definita.

Sarebbe definita se si convenisse di assumere per misura della aberrazione il minimo cerchio che abbraccia tutto il fascio dei raggio riflessi, ma in ogni modo non potrebbe mai dirsi che, quando questo cerchio è minore della sorgente, supposta circolare, lo specchio sia sufficientemente corretto per l'aberrazione e che sia superflua ogni ulteriore precisione.

Nessuna limitazione alla qualità dello specchio può essere giustificata dalle dimensioni e dalla forma della sorgente; qualunque sia la sorgente luminosa, l'efficacia di uno specchio è sempre tanto maggiore, quanto più esso è corretto per l'aberrazione. Soltanto perchè lo specchio assolutamente perfetto è irrealizzabile, devono necessariamente essere stabiliti dei limiti di tolleranza in relazione alle difficoltà tecniche di produzione.

Sapendo che la tecnica può dare degli specchi con aberrazione ridotta a certi limiti, può richiedersi che quei limiti siano raggiunti; oppure sapendo che lo specchio diventa più costoso quanto più è corretto, si può per ragioni economiche, accontentarsi di una correzione più o meno grossolana; ma non già che sia erroneo, o per lo meno superfluo, il richiedere la massima correzione di aberrazione per la ragione che la sorgente luminosa ha una certa estensione.

Per rendersi conto di ciò, si supponga un caso speciale, cioè che uno specchio S sia diviso in tre zone, di cui quella centrale ha il fuoco in F; quella intermedia lo ha in F*m* e quella esterna in F*e*; e che una sorgente sia posta in F.

La zona centrale darà un fascio con una divergenza uguale all'angolo sotto cui la sorgente è vista dal vertice V dello specchio.

Rispetto alla zona media, essendo la sorgente luminosa posta fra il fuoco e lo specchio, essa darà un'imagine virtuale e quindi un fascio divergente, e tanto più divergente quanto più grande sarà la sua aberrazione.

Per la zona esterna la sorgente si trova invece al di là del fuoco, essa darà quindi una immagine reale, ossia un fascio convergente, e tanto più quanto più grande è l'aberrazione.

Estendendo questo ragionamento si vede che, quando vi è dell'aberrazione, non si può mai avere un fascio omogeneo, e ciò qualunque siano le dimensioni e la forma della sorgente.

Può l'obliquità del cratere diminuire l'utilità della perfetta correzione dello specchio, ma nella maggior parte dei casi, se le lampade funzionano regolarmente, il cratere gode la proprietà di un disco luminoso normale all'asse, ed in tal caso anche un piccolo difetto d'aberrazione è dannoso alla efficacia del proiettore.

È giusto quindi che i limiti della tolleranza siano in armonia soltanto con le difficoltà tecniche di produzione, e non alle condizioni eventuali di funzionamento.

Questi limiti vengono generalmente definiti con la condizione che l'immagine di un oggetto lontanissimo posto sull'asse ottico deve essere mascherato da una sfera di dato diametro posta nel fuoco dello specchio, in qualunque direzione si guardi nello specchio stesso.

Questa condizione è logica, perchè ammette una tolleranza di aberrazione decrescente dal centro ai bordi dello specchio, ma la sua verifica diretta è difficile, e può dar luogo ad apprezzamenti errati e talora falsi sulla bontà di uno specchio; può quindi essere utile ricercare la condizione equivalente in relazione alla curva dei fuochi delle varie zone, curva che può essere ottenuta nel modo da me accennato altrove (1) o in altro modo equivalente. — Consideriamo uno specchio S, fig. 2, investito da un fascio parallelo all'asse. Se facciamo passeggiare lungo l'asse ottico una sfera opaca di diametro stabilito d, e troviamo un punto in cui la sfera occulta tutti i raggi riflessi, lo specchio è giudicato sufficientemente corretto, e quel punto viene assunto come fuoco dello specchio. Ciò equivale a dire che la massima aberrazione concessa per la zona dello specchio avente raggio $r = \mathrm{RA}$, rispetto al fuoco F è dato da $a = \mathrm{FN}$, segmento dell'asse ottico compreso fra F e l'intersezione con la tangente condotta da A alla sfera.

---

(1) " Rivista Marittima ", maggio 1910.

Facilmente si ricava il valore della detta aberrazione:

$$a = \pm \frac{d}{2r} \sqrt{r^2 + \left(f - \frac{r^2}{4f} + x\right)^2};$$

e con più che sufficiente approssimazione, quando si trascuri la parte centrale dello specchio:

$$x = \frac{S}{2r} \sqrt{r^2 + \left(f - \frac{r^2}{4f}\right)^2};$$

la quale permette di calcolare la aberrazione che viene tollerata per le varie zone dello specchio.

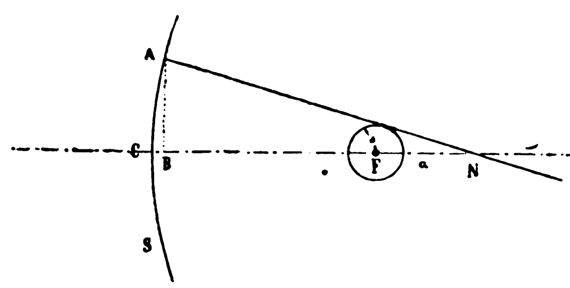


Fig. 2.

Portando i valori di r come ascisse, e quelli di a come ordinate, si hanno due curve simmetriche intorno all'asse della r; cosicchè la condizione della sfera può enunciarsi dicendo, che la curva dei fuochi delle varie zone deve rimanere sempre compressa fra le dette due curve, le quali sono caratteristiche per gli specchi che hanno quella distanza focale e quel diametro. La definizione del limite di tolleranza è così più sicuramente stabilita, e la verifica può essere più precisa ed obbiettiva.



La condizione della sferetta è una condizione arbitraria, che stabilisce dei limiti per l'aberrazione ma che non ha alcuna base razionale. Più logico sarebbe stabilire una condizione deri-



vata dalla proprietà stessa che agli specchi si richiede; ossia dalla proprietà di far convergere i raggi luminosi.

Se uno specchio fosse perfettamente parabolico, una sorgente luminosa posta nel fuoco darebbe luogo ad un fascio di luce con divergenza (che alcuni chiamano divergenza naturale) uguale all'angolo sotto cui la sorgente è vista dallo specchio. Invece, poichè lo specchio non è mai perfetto, per effetto dell'aberrazione si avrà una divergenza alquanto maggiore. Stabilito il rapporto che si può e si vuol tollerare fra la divergenza effettiva e quella naturale, si potrà ricavare le corrispondenti aberrazioni che possono essere tollerate nelle varie zone dello specchio. — Anche qui è necessario supporre che la sorgente luminosa abbia la forma di un disco normale all'asse ottico, forma cui, del resto, molto si approssima l'arco quando funziona regolarmente.

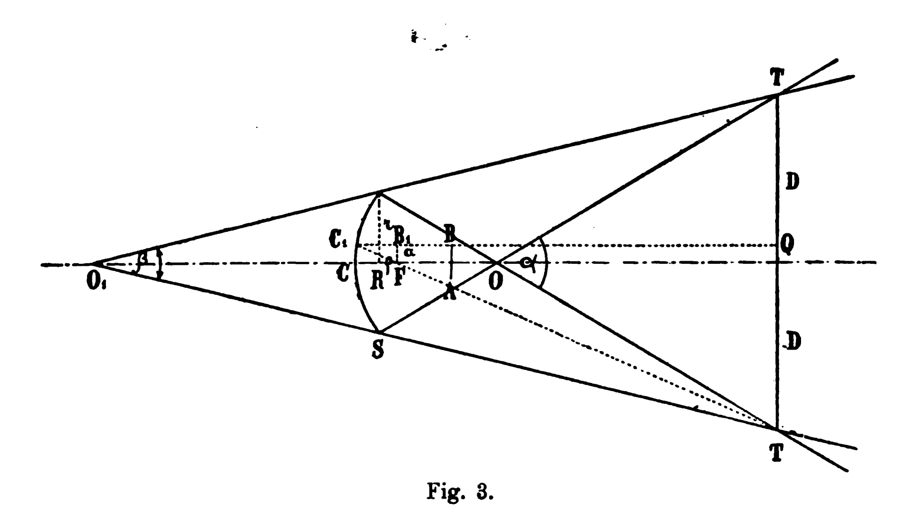


Fig. 3.

Se S è uno specchio perfetto di cui F è il fuoco (fig. 3), e alla distanza a da questo è posta una sorgente luminosa circolare di raggio d, questa darà una immagine alla distanza CQ, del diametro D. Ad ogni punto di questa immagine arriva luce da ogni punto dello specchio, e così da ogni punto T della periferia arrivano dei fasci conici col vertice in detti punti e che sottendono lo specchio S. — Considerando tutto l'insieme di questi coni si vede come il fascio complessivo di luce abbia la divergenza β fra lo specchio e l'immagine, e α al di là dell'immagine.

Per questi due angoli si ricava facilmente

$$\tan g \frac{\alpha}{2} = \frac{fd + ra}{f(f+a) - \frac{ar}{4f}}$$

$$\tan g \frac{\beta}{2} = \frac{fd - ra}{f(f+a) - \frac{ra}{4f}} .$$

Infatti C_1B_1 è molto prossimamente uguale ad f; se la sorgente non è enormemente estesa dai due triangoli C_1B_1F e FQT si ha:

$$\frac{D}{d} = \frac{FQ}{f} = \frac{CQ - f}{f}$$

ma poichè

[1] $$\frac{1}{CQ} + \frac{1}{f+a} = \frac{1}{f}$$

e quindi:

[2] $$CQ = \frac{f(f+a)}{a} ;$$

sostituendo in [1]:

[3] $$\frac{D}{d} = \frac{f}{a} ,$$

nota proprietà degli specchi parabolici. Si ha ancora, se r è il raggio dello specchio:

$$\frac{RO}{OQ} = \frac{r}{D} ; \quad \frac{RO_1}{QO_1} = \frac{r}{D} ;$$

e per la [3]

$$\frac{RO}{OQ} = \frac{ra}{fd} ; \quad \frac{RO_1}{QO_1} = \frac{ra}{fd} ;$$

da cui:

$$\frac{RO}{RO + OQ} = \frac{ra}{ra + fd} ; \quad \frac{RO_1}{O_1Q - RO_1} = \frac{ra}{fd - ra} ;$$

$$\frac{RO}{CQ - CR} = \frac{ra}{ra + fd} ; \quad \frac{RO_1}{CQ - CR} = \frac{ra}{fd - ra} ;$$

e poichè:

$$CR = 4f \cdot r^2$$

e per la (2):

$$RO = \frac{r(f+a)f}{fd+ra} - \frac{ra}{fd+ra} \cdot \frac{r^2}{4f};$$

$$RO_1 = \frac{r(f+a)f}{fd-ra} - \frac{ra}{fd-ra} \cdot \frac{r^2}{4f};$$

e poichè:

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \frac{r}{RO}; \quad \operatorname{tang}\frac{\beta}{2} = \frac{r}{RO_1};$$

si hanno le espressioni da cui siamo partiti:

[4] $$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \frac{r}{\frac{r(f+a)f}{fd+ra} - \frac{ra}{fd+ra} \cdot \frac{r^2}{4f}};$$

$$\operatorname{tang}\frac{\beta}{2} = \frac{r}{\frac{r(f+a)f}{fd-ra} - \frac{ra}{fd-ra} \cdot \frac{r^2}{4f}};$$

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \frac{fd+ra}{f(f+a)-ra} \quad \operatorname{tang}\frac{\beta}{2} = \frac{fd-ra}{f(f+a)-ra}.$$

Dalle quali facendo $a =$ zero risulta subito

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \operatorname{tang}\frac{\beta}{2} = \frac{d}{f}$$

ossia, come già si sa, se la sorgente ha forma di disco ed è collocata nel fuoco, il fascio ha da per tutto la stessa divergenza, e questa è uguale all'angolo sotto cui la sorgente è vista dal vertice dello specchio.

Le [4], quando a è piccola, si riducono a forma più semplice, ossia:

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \frac{fd+ra}{f^2}; \quad \operatorname{tang}\frac{\beta}{2} = \frac{fd-ra}{f^2}.$$

Consideriamo ora uno specchio S che abbia il suo fuoco in F, ma che per una zona di raggio r presenta una aberrazione a talchè il fuoco di questa zona sia in F_1.

Se noi mettiamo una sorgente avente forma di disco di

raggio d in F, lo specchio, esclusa la zona di raggio r, darà un fascio di divergenza $\frac{d}{f}$; ma la zona avente raggio r si comporterà come uno specchio per il quale la sorgente sia posta fuori fuoco dalla quantità a.

Essa darà quindi un fascio divergente con la divergenza:

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2}=\frac{fd+ra}{f^2}\,;\qquad \operatorname{tang}\frac{\beta}{2}=\frac{fd-ra}{f^2}\,.$$

Avremo dunque della luce che esce dal fascio di divergenza naturale $\frac{d}{f}$ e, perchè questa luce non vada al di là della tolleranza, il valore di a, ossia dell'aberrazione per la zona di raggio r, dovrà essere al *massimo* quello per cui:

$$\frac{\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2}}{\frac{d}{f}}=\frac{\frac{fd+ra}{f^2}}{\frac{d}{f}}=\mathrm{K}$$

$$\operatorname{tang}\frac{\beta}{2}=\frac{\frac{fd-ra}{f^2}}{\frac{d}{f}}=\mathrm{K}$$

essendo K il rapporto ammesso fra le due divergenze, ossia dovrà essere al massimo:

$$a=\pm\frac{fd}{r}\,\mathrm{K}.$$

L'aberrazione dunque per la zona di raggio r deve rimanere dentro a questi due limiti, i quali, come si vede, sono inversamente proporzionali al raggio della zona.

Se si portano i raggi come ascisse e i limiti d'aberrazione come ordinate, si hanno due rami di iperbole simmetrici intorno all'asse dell'ascisse.

È dunque casualmente razionale la condizione di collaudo della sfera che ammette un limite d'aberrazione decrescente verso la periferia.

La funzione $\frac{ar}{f}$ può essere presa come funzione caratteristica degli specchi, e, stabilendo che essa debba essere inferiore ad

una determinata quantità K, si verrebbe a stabilire una razionale condizione di accettazione.



Il metodo sopra accennato è quello che si presenta come il più razionale per giudicare uno specchio parabolico in relazione all'uso per i proiettori, però non deve essere preso in senso assoluto. — Uno specchio può essere tale che per la massima parte della sua superficie il rapporto fra la divergenza effettiva e quella naturale sia molto prossimo all'unità e se ne allontani molto in una ristrettissima zona. — Quello specchio sarà preferibile ad un altro specchio, che non abbia nessun punto d'aberrazione fortissima, ma abbia un rapporto medio maggiore che nel primo. Come pure bisogna tener conto che l'aberrazione ha un'importanza maggiore nelle zone che corrispondono alle direzioni secondo le quali l'intensità luminosa della sorgente è maggiore, e quindi vicino al centro ha un'importanza infinitamente minore che alla periferia.



In conclusione, a mio avviso, tutti i metodi d'esame di uno specchio fondati sull'occultazione delle immagini con ostacoli posti nel fuoco, su deformazioni di reticolati o altro, sono metodi empirici e indeterminati che dicono ben poco. Si deve ricavare *il diagramma dei fuochi delle varie zone* e questo deve essere razionalmente interpetrato.

RÉSUMÉ

L'auteur commence par affirmer qu'il est tout-à-fait inexact de fixer, comme font certains auteurs, la tolérance dans les aberrations d'un miroir de projecteur électrique, en se basant sur le fait que la source lumineuse — (le cratère de l'arc) — a une certaine étendue. Il affirme, au contraire, et démontre, que la tolérance doit être accordée uniquement en vue de l'impossibilité matérielle de construire un miroir techniquement parfait, car un miroir donne dans les projecteurs des résultats d'autant plus satisfaisants, qu'il s'approche le plus de la forme parfaite, quelle que soit la forme et l'étendue de la source lumineuse. Ensuite il discute le moyen pratique, ordinairement adopté, pour l'essai des miroirs, qui consiste à observer par réflexion un objet éloigné, placé sur l'axe du miroir.

L'objet est caché par rapport à toute direction par une petite sphère opaque placée dans la région focale, et le diamètre de la sphère qui remplit cette condition est pris comme valeur de la qualité du miroir. Ce système équivaut à admettre pour chaque zone circulaire du miroir une tolérance différente dans la distance focale: en traçant le diagramme des distances focales limites pour chaque zone, on déduit un système équivalent, mais plus complet, d'essai, qui consiste à vérifier, par un appareil spécial de précision, que le diagramme effectif des distances focales du miroir dans chaque zone se trouve compris dans le diagramme limite. Il serait cependant plus rationnel d'établir le diagramme limite par la considération de la divergence effective de chaque rayon, laquelle doit être dans un rapport déterminé avec la divergence naturelle du miroir, c'est-à-dire avec la divergence due à l'étendue de la source. L'auteur établit la tolérance dans les distances focales des différentes zones, pour que cette condition rationnelle soit remplie. Il note enfin qu'on ne peut pas écarter un miroir dont quelques rayons sortent au delà de ce cône: il convient de tolérer que quelque peu de lumière soit réfléchie au dehors de ce cône limite, et qu'un miroir, dont le rapport de la divergence du cône effectif à la divergence naturelle est plus proche de l'unité, peut être bien meilleur, même si quelque lumière sort du cône, qu'un miroir dans lequel le rapport est moins voisin de l'unité. La vérification pratique du

diagramme des distances focales de toutes les zones du miroir permet seule de juger de la qualité intrinsèque du miroir, et de comparer deux miroirs entre eux. L'observation des réticules, les photographies de lignes régulières, les limites dans la distorsion d'images et autres semblables observations, ne donnent aucune idée juste de la qualité réelle de la surface réfléchissante.

DISCUSSION

M. E. Ceradini (Spezia) *a écouté avec un vif intérêt la Communication de M. Pasqualini, qui apporte de la clarté sur quelques points incertains dans l'examen des miroirs. Il désire savoir cependant ce que c'est que le foyer d'un miroir, lorsqu'on admet que les différentes zones puissent avoir des foyers différents.*

M. L. Pasqualini (Florence) *répond que l'on doit retenir comme foyer le point optique de l'axe qui correspond à celui du plus grand nombre de zones, ou le point auquel les foyers des différentes zones s'approchent davantage.*

Sur un appareil de chauffage électrique

par courants de Foucault.

Prof. R. Swyngedauw (Lille - Nord).

J'ai été amené dernièrement à étudier un appareil d'échauffage électrique fondé sur l'utilisation des courants de Foucault.

Cet appareil est construit par la Société Monier Denissel et C. à Lille; je l'appellerai dorénavant appareil Monier.

L'appareil Monier se compose essentiellement d'un ou plusieurs électroaimants dont les noyaux sont des cylindres de fer plein ou des tubes à parois épaisses, et dont l'enroulement est traversé par du courant alternatif quelconque.

Les courants de Foucault qui se dégagent dans les noyaux se comportent comme s'ils parcouraient un secondaire de transformateur en court circuit, de sorte que l'appareil, qui est constitué apparemment comme une bobine de selfinduction, fonctionne en réalité avec un déphasage très faible et un cos φ voisin de l'unité.

Suivant le nombre des spires enroulées sur le noyau ou sur le tube, le fer travaille à une induction plus ou moins considérable.

Si l'on veut un appareil chauffant à haute température, l'enroulement comporte un petit nombre de spires, et sa puissance spécifique par kilogramme est élevée.

Si l'on désire un appareil chauffant à une température plus basse, on emploie un enroulement comportant un nombre de spires plus grand; la puissance spécifique est plus faible.

Suivant la résistance et la nature du conducteur qui constitue

l'enroulement, suivant l'induction à laquelle le fer est porté, on peut réaliser un appareil dont la puissance est indépendante de la température, ou dont la puissance diminue lorsque la température s'élève.

Remarquons pour cela que dans le cas où l'on peut négliger la chûte ohmique de tension dans l'euroulement devant la force contrélectromotrice, pour une tension constante appliquée à l'enroulement et pour une fréquence donnée le fer travaille à une induction maximum constante, et le courant de Foucault, qui se produit dans ces conditions, dégage une énergie calorifique qui varie en raison *inverse* de la résistivité du métal dans lequel il se produit; on se rendra donc bien compte de la diminution de puissance énoncée ci-dessus en remarquant que la résistivité du fer croît avec la température.

Cette circonstance sera heureusement utilisée dans le cas du chauffage de fers à souder, qui doivent chauffer le plus rapidement possible lorsqu'ils sont froids, et pour lesquels il suffit d'entretenir la température à une valeur convenable lorsque le régime normal est atteint.

Je ne donnerai ici la description que de l'appareil Monier adapté au chauffage des appartements sous une des formes les plus avantageuses, et pour une puissance importante 6 à 7 kilowatts.

L'appareil triphasé comprend six tubes de fer verticaux emboîtés à leurs extrémités dans deux plaques de fer horizontales; chaque tube porte un enroulement en fil de fer et les enroulements sont associés en étoile ou en triangle; les axes des tubes sont disposés suivant les arrêtes d'un prisme droit hexagonal régulier.

Chaque tube de 30 cm. de long. porte un enroulement de 180 spires de fil d'acier de $\frac{14}{10}$ de mm. de diamètre, enduit d'une substance isolante résistant aux hautes températures et protégeant le fer contre toute oxydation.

Les tubes et les armatures ont une épaisseur de 4 mm. et un diamètre extérieur de 10 mm.

L'appareil chauffant est renfermé dans une enveloppe émaillée et ajourée. Un ventilateur mû par un petit moteur série branché entre deux phases et placé sous l'appareil chauffant active considérablement la ventilation naturelle. Par un jeu convenable d'interrupteur, on peut à volonté, lorsque la température désirée

est atteinte, réduire la puissance de l'appareil à celle qui est nécessaire à la réparation des pertes dues au refroidissement des parois. On peut atteindre ce résultat de diverses façons, et notamment en passant de l'association des circuits en triangle à l'association en étoile.

L'appareil chauffant pèse une soixantaine de Kilogs; il absorbe, à la fréquence 50 et à une tension de 200 volts entre phases, en régime permanent, une puissance de 6440 Watts avec un cos φ de 0,97 et un courant de 16 ampères par phase.

A la mise en circuit, lorsque l'appareil est froid, la puissance est d'un quart plus forte, le régime permanent est atteint en 5 minutes environ.

Sous la puissance de 6440 Watts l'air chaud à la sortie des tubes donne au thermomètre la température de 192°, et sa vitesse mesurée à l'anémomètre à 10 cm. environ des tubes est d'environ 30 mètres par seconde. Or 6440 Watts dégagent 1540 petites calories par seconde, capables d'échauffer 30 m^3 d'air de 10° en une minute (la température initiale étant de 8° et la température finale 18°). Il en résulte que l'appareil de 6440 Watts, muni d'un ventilateur capable de lancer à travers les tubes un volume d'air de 10 à 20 m^3 par minute, serait capable de réchauffer une salle de 100 m^3 en 3 minutes $\frac{1}{3}$ environ, si l'on pouvait négliger les pertes par les parois.

Un autre poële à tubes plus serrés les uns contre les autres fournit sous le poids de 5 Kg. une puissance de 9 Kilowatts; la température atteinte par les tubes est de 400°.

En résumé: les appareils constitués comme il a été décrit, fonctionnent avec un cos φ excellent, voisin de l'unité, leur puissance spécifique est considérable et leur encombrement minime, leur robustesse et la sécurité de leur fonctionnement sont évidentes et incontestables; l'enroulement d'un fil d'acier nu sur un tube d'acier préalablement recouvert d'une couche d'amiante, et le bobinage recouvert d'une couche d'une substance isolante réfractaire aux hautes températures, n'offrent aucune prise à l'oxydation et, la dilatation de l'enroulement étant identique à celle du tube, il n'y a aucune tendance à la déformation des spires et aucun court circuit n'est à craindre.

L'adjonction du ventilateur est très efficace pour l'uniformisation de la température de la salle et l'épuration de l'air.

Le ventilateur placé sous l'appareil aspire l'air, et les pous-

sières peuvent être arrêtées par un filtre en tissu quelconque, l'air en passant à travers les tubes est débarrassé en outre de ses microbes qui sont brûlés au contact des tubes chauds; on peut humidifier l'air et le charger de vapeur désinfectante en plaçant un liquide convenable sous le ventilateur.

DISCUSSION

M. C. A. Rossander (Stockholm) *demande si ces appareils sont silencieux pendant leur fonctionnement.*

M. R. Swyngedauw (Lille) *répond que, lorsqu'ils sont convenablement construits, il ne font aucun bruit, comme il sera facile de le constater.*

Les tissus, tapis et tricots chauffant par l'électricité.

C. HERRGOTT (Valdoie-Belfort).

Le prix encore élevé du courant électrique, au moins dans les distributions publiques, continue à être l'obstacle que l'on oppose à la diffusion du chauffage par l'Électricité; ce reproche paraît réellement excessif; les genres d'appareils les plus divers ne manquent pas, aussi il semble assez naturel de rechercher ceux qui offrent le meilleur rendement possible du courant électrique appliqué à fournir de la chaleur.

En effet, il ne faut pas dire le meilleur rendement en calories produites, puisqu'une intensité donnée en fournit une quantité bien déterminée, mais il faut le *meilleur rendement par l'intermédiaire nécessaire pour transmettre* ces calories au corps humain.

I. — Ce rendement maximum est incontestablement obtenu quand le corps humain forme le conducteur lui-même échauffé par le passage du courant électrique, il n'y a donc plus d'intermédiaire, toutes les calories produites sont utilisées; le plus bel exemple se rencontre dans la *Diathermie.* Cette façon de procéder est maintenant assez connue pour qu'il soit inutile de la décrire, mais comme elle emploie les courants à haute fréquence, il se trouve que la diathermie ne saurait être appliquée qu'entre des mains expérimentées afin d'éviter des troubles possibles dans l'organisme; aussi cet emploi de la chaleur *directement* due au courant électrique doit rester encore dans le domaine strictement médical.

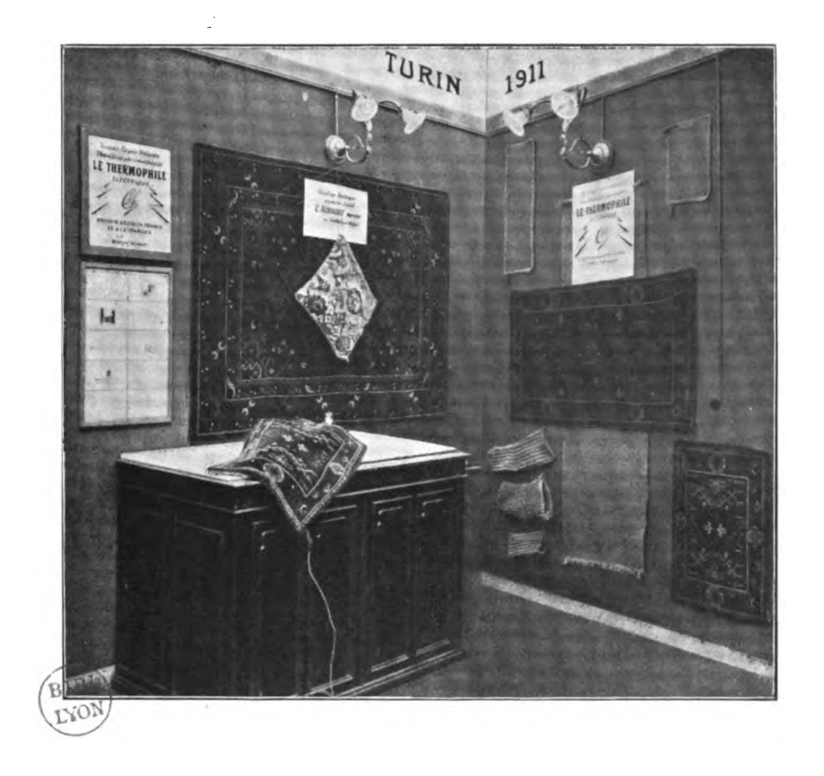
II. — Pour échauffer le corps humain par l'intermédiaire de *l'air ambiant*, il est certain que le rendement le meilleur se

fera par *radiation lumineuse*; ce sont les rayons lumineux qui traversent le mieux l'atmosphère, même les corps translucides n'arrêtent pas leurs rayons calorifiques, le soleil le démontre depuis longtemps. Ainsi la lampe à incandescence qui, à ses débuts, a été prônée comme ne chauffant pas ou peu l'air ambiant, est peut-être le meilleur des appareils de chauffage électrique; aussi a-t-elle été depuis quelque temps assez employée pour ce but dans une quantité d'appareils bien connus des installations modernes; elle a été encore appliquée avec profit pour le chauffage de certaines étuves et, récemment même, pour le vernissage au four; incontestablement le rendement calorifique de la lampe à incandescence est plus élevé que celui de simples résistances tendues à l'air libre et, en tous cas, elle résiste plus longtemps, ne vicie pas l'air et évite tous les dangers d'incendie au milieu des vapeurs gazeuses notamment.

La forme même de la lampe à incandescence s'est pliée à ce but spécial du chauffage électrique pour s'introduire jusque dans les fourneaux de cuisine, ou elle remplace à la vue et au toucher la braise rouge à laquelle nous sommes depuis si longtemps habitués; elle y apporte de plus une propreté que nul ne peut lui contester; c'est là, sans nul doute, la meilleure application, la plus économique que l'on puisse faire à la cuisine par l'électricité. Enfin, la lampe à incandescence chauffante s'est complètement transformée, et s'est renfermée dans des tubes en quartz à filament métallique spécialement construits et excellemment disposés comme dans les appareils nommés *quartzalite*, afin de bien transmettre l'électricité par chaleur lumineuse sous un excellent rendement.

III. — Après avoir échauffé le corps humain par lui-même, ce qui est évidemment délicat et reste trop médical, ou par l'intermédiaire de l'air ambiant, qui implique une température élevée dans l'appareil même de chauffage; il reste encore possible l'élévation de température du corps humain *par contact*, ce qui demande plus de douceur, et permet les applications locales qui deviennent même innombrables.

Le chauffage électrique doit être évidemment moelleux pour être agréable, de température bien plus douce que l'incandescence pour être supportable, et, comme il ne se sert plus d'air pour intermédiaire, il reste de très bon rendement en sa *chaleur obscure* puisqu'il ne se manifeste pas à distance, mais en contact.


TURIN 1911
LE THERMOPHILE

Des tissus chauffés électriquement viennent, sans plus tarder, à la pensée pour réaliser au mieux ce troisième mode de transmission au corps humain de la chaleur due au courant électrique. En effet, on peut y trouver tout le moelleux désirable, il est facile d'y prévoir le passage d'une quantité déterminée de courant électrique, il est simple de le modifier à volonté et par suite la température obtenue, et surtout on compose ainsi des appareils de chauffage électrique essentiellement portatifs en toutes formes et dimensions.

Dans cette application assez simple en apparence, il se trouve cependant bien des détails à étudier et à obtenir pour arriver réellement au but recherché. Il faut d'abord conserver aux tissus employés leur souplesse et leur légèreté connues, même leur aspect habituel, pour arriver ensuite à rendre conducteurs chauffants, non pas des circuits rapportés après tissage, mais toutes les fibres de ces tissus, et enfin à leur assurer une fabrication qui soit durable dans un excellent rendement.

C'est ce qu'on a tenté de faire dans un certain nombre d'appareils déjà connus, mais qui s'approchent plus ou moins du but recherché. L'une de ces fabrications les plus appréciées se trouve réalisée, non seulement par des *tissus* dits *termophiles*, mais aussi par des *tapis d'Orient* de ce système, et surtout par des *tricots* de toutes formes exécutés en *laine chauffante*; ce sont donc les parties constitutives de ces thermophiles qui sont électro-thermiques, et qui en font *partie intégrante* dans leur fabrication même.

Diverses communications dès 1908 au Congrès des Applications de l'Électricité à Marseille, puis à la Société Française de Physique et notamment à l'Académie des Sciences de Paris, avec expériences, présentées par Monsieur le Professeur d'Arsonval, ont décrit avec autorité la façon toute particulière dont sont composés les tissus, tapis et tricots thermophiles; aussi il suffit de rappeler qu'ils réalisent précisément tous les desiderata qui viennent d'être exposés pour les applications *par contact de la chaleur obscure* due au passage du courant électrique et avec le meilleur rendement en ce genre.

Dans de telles conditions, les applications thermophiles sont innombrables pour le corps humain et même pour certaines industries:

1°. — *Dans le confort moderne,* l'idéal du chauffage est assuré de la façon la plus agréable par des " tapis d'Orient " en

toutes dimensions et du plus luxueux aspect pour avoir la tête froide et les pieds chauds; de moelleux " coussins thermophiles „ rembourrés de plumes reposent et réchauffent les reins; des " couvertures „ souples et élégantes entretiennent une douce chaleur sur les jambes pendant les cures d'air froid, même des dossiers de fauteuils ou des " chales „ légers sont très appréciés des personnes frileuses; ainsi, non seulement les rhumatisants et les vieillards trouvent des soulagements à leurs douleurs, mais les personnes les plus valides, en particulier celles qui ont des occupations sédentaires, trouvent dans les " tapis thermophiles „ un chauffage confortable, qui complète et même remplace les autres modes de chauffage général des appartements pendant les saisons à température variable; ils permettent, en tous cas, de rester la tête plus libre dans un atmosphère moins surchauffé.

2°. — Pour les *applications médicales* les plus heureux effets sont particulièrement obtenus par les tricots plats de dimensions appropriées, car ils surpassent tous les révulsifs et deviennent un puissant agent de décongestion locale; ils remplacent avantageusement par leur chaleur indéfiniment constante les compresses d'eau chaude qui, après avoir été brûlantes, se refroidissent trop vite. Les douleurs d'*estomacs* ne résistent pas aux applications de thermophiles sèches ou humides, elles sont l'adjuvant simple et pratique de toute digestion difficile, et rendent le calme aux nerfs dans les névralgies et les douleurs lancinantes ou fulgurantes.

Les thermophiles de toutes formes rendent de la souplesse aux articulations raidies par les arthrites; en poignets, genouillères, jambes tricotées de *laine thermophile* ils apportent ce qui manque le plus dans un membre atrophié et en particulier dans les " paralysies infantiles „, comme l'a expérimenté, avec succès, Monsieur le Professeur Bergonié; ils fournissent cette douce chaleur réconfortante qui, tout en laissant libres les mouvements, assure le réchauffement nécessaire le plus parfait du membre malade.

Après les " laparatomies „ les applications thermophiles sur le ventre permettent de réchauffer les intestins et de les remettre en fonction normale; ce qui est capital pour l'opéré. Enfin pour la sudation locale ou générale les " tissus thermophiles „ donnent les plus excellents résultats, et l'entretien des " tables d'opérations „ à la température du corps humain est rendu tout à fait pratique pendant les interventions de longue durée.

L'arsenal de la thérapeutique ne peut donc disposer d'un meilleur moyen aussi rapide et aussi fidèle pour opposer la chaleur à la douleur; les " cataplasmes „ thermophiles, grâce à leur légèreté, sont toujours parfaitement supportés, ils s'adaptent à toutes les régions du corps humain, et se déplacent au gré du patient sans jamais se refroidir.

3°. — Dans l'*industrie* elle-même les tissus thermophiles rendent les meilleurs services comme dans le " filtrage „ des matières grasses, qui est fort intéressant, pour sécher les pellicules et épreuves photographiques de la façon la plus sûre et la plus régulière; en « toiles sans fin „ pour transporter et réchauffer à la fois les graines oléagineuses; dans une quantité d'autres applications industrielles qui apparaissent chaque jour et qui ne peuvent être toutes énumérées; lorsqu'il s'agit de douce température par contact de parfaite régularité à volonté entre + 5° et + 150°, *avec le minimum de consommation de courant électrique, sous tensions de 50 à 500 volts.*

Dans toutes ces multiples applications, l'hygiène se manifeste sous toutes ses formes comme la commodité la plus agréable en ces appareils pratiques et appréciés, qui ne présentent aucun danger et peuvent être mis entre toutes les mains pour les meilleures satisfactions à tous égards.

4°. — Il semble donc bien que ces trois principales méthodes pour l'utilisation de la chaleur engendrée par le courant électrique sont de rendement maxima pour le chauffage, chacun dans leur genre: la première par *échauffement direct*, la deuxième par *chaleur lumineuse en radiations* au travers de l'air ambiant, et la troisième par *chaleur obscure en contact* moelleux de douce température.

Ainsi ce n'est plus le prix du courant électrique qui peut devenir un obstacle à sa diffusion pour le chauffage; cette énergie commence d'ailleurs à se répandre de tous côtés, et chacun l'apprécie pour l'employer dans toutes ses manifestations de puissance, de lumière et de chaleur pour le plus grand bien du genre humain.



Sezione V

TRAZIONE E PROPULSIONE ELETTRICA

Presidente	C. O. MAILLOUX	(U. S. A.)
Vice Presidenti	L. M. BARNET-LYON	(Olanda)
	G. SARTORI	(Italia)
Segretari	E. FENZI	(Italia)
	G. G. PONTI	(Italia)

LA TRAZIONE MONOFASE E LA TRAZIONE TRIFASE

sulle linee di grande traffico.

Rapporto sul Tema N. 13 del Congresso.

Relatore Ing. GIORGIO CALZOLARI (Milano).

§ 1.

Il problema della trazione elettrica sulle linee di grande traffico, che vanno quindi esercite prevalentemente se non esclusivamente con locomotive, involge questioni di indole tecnica ed economica di tale importanza che quasi tutte le nazioni civili del mondo ne hanno fatto in questi ultimi anni oggetto di profondi studii sotto quel duplice punto di vista, sia mediante installazioni di prova in scala più o meno estesa, sia mediante istituzione di apposite commissioni di studio e di indagine sui risultati ottenuti altrove, con l'aiuto e il concorso dei governi, delle amministrazioni ferroviarie e delle case costruttrici di materiale di trazione elettrica.

Le relazioni di dette commissioni e i risultati tecnici ed economici dell'esercizio delle varie linee elettrificate sono stati resi di pubblica ragione più o meno completamente in comunicati e riassunti apparsi saltuariamente nella stampa tecnica di tutto il mondo; ma la somma più forte dei risultati degli studi e delle esperienze fatte, fu tutta in blocco e quasi completamente portata all'ultimo Congresso internazionale ferroviario, tenuto a Berna lo scorso anno.

Dalle comunicazioni fatte e dalle discussioni cui esse hanno dato origine si deduce che oggi debbansi oramai ritenere assodati i seguenti punti:

1° La trazione elettrica dovrà a preferenza svilupparsi dove si possono, anche a notevole distanza, utilizzare cascate d'acqua, beninteso quando lo si possa fare in modo che l'impianto possa rivestire i caratteri della maggior sicurezza per la garanzia della continuità dell'esercizio e quando non si rendano necessari impianti di importanza esagerata in relazione allo scopo; ma la elettrificazione di linee esercitate a vapore può riuscire economica anche quando si debba ricorrere a centrali termoelettriche: in questo caso sarà tanto più vantaggiosa quanto più caro è il prezzo del carbone e quanto maggiore è il consumo di energia che si richiede per unità di trasporto. Esiste per ciascuna linea e per un determinato costo dell'energia un minimo di traffico al disopra del quale soltanto è conveniente l'elettrificazione: viceversa, per una data linea e per un dato traffico esiste un valore limite per il costo dell'energia, al disotto del quale soltanto l'elettrificazione è conveniente.

La determinazione di questi valori critici può oggigiorno farsi oramai senza tema di forti sorprese, poichè si può contare su dati d'esperienza che solo qualche anno fa mancavano.

2° Esistono sistemi di trazione elettrica che rispondono in modo incontestabilmente sufficiente a tutti i desiderata per l'esercizio di una grande ferrovia, tanto che si può avere certezza di successo quando siano giudiziosamente scelti ed applicati.

Tutti i tipi di motori che fino ad oggi si contendono il campo della grande trazione ferroviaria sono stati portati ad un notevole grado di perfezione e sono capaci delle potenze richieste dal più gravoso servizio.

Tutte le loro proprietà caratteristiche non solo sono perfettamente conosciute in teoria, ma sono state sanzionate dalla pratica. Questa anzi ha dimostrato in certi casi il limitato valore di alcune di esse ritenute in teoria di grande momento, e viceversa il nessun valore pratico di certi svantaggi teoricamente ritenuti rilevanti.

È precisamente dal diverso apprezzamento di queste proprietà, non sempre fatto in modo imparziale, non sempre fatto in base alle reali necessità ferroviarie o con una esatta conoscenza di queste (e alle quali d'altro lato devono cedere le esigenze elettrotecniche), che è nata e perdura la questione della scelta del sistema di trazione.

La questione nuda e cruda “ *monofase o trifase* „ ci sembra veramente male impostata, perchè in tal modo non si tiene conto nè delle condizioni della linea nè del genere di servizio e di traffico che su essa si svolge o deve svolgersi, e che sono invece, a parere nostro e di molti, quelle che dovrebbero dare l'indirizzo per la scelta, considerate in relazione alle caratteristiche dei vari sistemi. È semplicemente logico che caratteristiche di trazione diverse convengano a tipi di servizio ed esercizio diverso, e che dalla scelta opportunamente fatta e non dal sistema in sè debba dipendere il successo di una elettrificazione.

Questo ordine di idee però non è seguito da tutti. C'è infatti chi ritiene che, quando una amministrazione ferroviaria si propone di introdurre la trazione elettrica avendo di mira una estesa sua applicazione ad una rete complessa di linee, non debba scegliere per ogni singola linea la forma di corrente più economica che risulta dai calcoli, ma che per l'andamento omogeneo ed economico del servizio debba ricorrere ad un sistema conveniente unico, bastando la certezza che la scelta fatta corrisponda genericamente alle esigenze del servizio, che permetta di utilizzare i vantaggi della trazione elettrica, che questa venga a costare di meno o almeno non di più della trazione a vapore, senza dare eccessivo peso a quanto una certa forma di corrente sia più o meno economica di un'altra.

Altri vanno ancora più in là, e, facendo rilevare i vantaggi che si avrebbero con l'adozione di un unico tipo di impianti, contro le gravissime conseguenze che potrebbero derivare un giorno dalla tendenza a moltiplicarli oggi con le più diverse modalità tecniche, caldeggiano la standardizzazione internazionale del sistema di impianti di trazione.

In realtà queste due tesi, specialmente la seconda, sembrano oggi alquanto azzardate, premature certo, pericolose anche sotto certi punti di vista.

Tecnicamente, standardizzando adesso, dopo appena undici anni dalla introduzione del trifase e dopo quattro da quella del monofase nella pratica dei grandi impianti di trazione, si arresterebbero possibili progressi in campi ancora molto fertili e capaci di perfezionamento non solo, ma verrebbero ad essere strozzate dalla nascita, eventuali nuove invenzioni di altri sistemi, che potrebbero segnare notevoli miglioramenti sulle attuali forme.

D'altra parte le elettrificazioni delle grandi linee non sono

cose che s'improvvisino: richiedono sopra tutto capitali così enormi che si procederà molto gradatamente, onde non è a dire che in breve volgere d'anni si possano avere elettrificate intere reti e che possano sorgere gli inconvenienti prospettati dai sostenitori della standardizzazione degli impianti.

E quale sarebbe poi questo tipo di impianto da adottarsi universalmente ?

Il più appassionato sostenitore della standardizzazione è stato in questi ultimi tempi Giorgio Westinghouse, che l'ha sostenuta al Congresso riunito della American Society of Mechanical Engineers e del British Institute of Mechanical Engineers, tenuto a Londra lo scorso anno, nel suo discorso inaugurale, quale presidente della prima delle citate associazioni. Ma l'oratore, pur lasciando intravvedere la sua simpatia pel monofase, non ha però fatto alcuna dichiarazione esplicita al riguardo del sistema da adottarsi. D'altra parte la tesi da lui sostenuta ebbe veramente scarsa accoglienza e scarsa eco.

Invece al Congresso internazionale ferroviario di Berna già citato, per opera specialmente dei relatori e rappresentanti della Germania, dell'Austria e della Svizzera, era stato proposto un ordine del giorno che suonava presso a poco così:

1° " Il sistema di trazione non deve essere scelto in relazione alla sua adattabilità a certi casi particolari, ma sulla base della sua applicabilità a una intera rete.

2° " Uno studio delle condizioni della Germania, dell'Austria e della Svizzera indica il sistema monofase come il meglio indicato per la trazione sulle grandi linee, quantunque gli altri sistemi siano stati trovati applicabili in altri casi ".

Queste vedute non potevano non trovare notevoli oppositori, e le opposizioni, specialmente per parte dei rappresentanti della Russia, della Francia e dell'Italia, furono contro il sistema caldeggiato: altri rappresentanti, senza entrare in merito, asserirono che troppo recente era il monofase per dargli senz'altro la preferenza; altri infine negarono la necessità dell'adozione di un unico sistema per la elettrificazione di una intera rete.

E il Congresso dette loro ragione, perchè le conclusioni votate furono le seguenti:

1° " Tecnicamente la trazione elettrica ha fatto in questi ultimi anni progressi tali da presentare una soluzione soddisfacente del problema della trazione sulle linee principali tanto con automotrici che con locomotive.

2° " Varii sistemi si offrono alla soluzione e la scelta di-
" pende dalla loro rispettiva convenienza in ogni singolo caso.

3° " Le amministrazioni che si propongono di introdurre la
" trazione elettrica sulle loro linee, dovrebbero fare passi per
" facilitare lo scambio del materiale, per quanto è possibile „.

§ 2.

Questo, nelle linee generali, è lo stato attuale delle idee in materia di trazione elettrica.

Diamo ora uno sguardo alla consistenza degli impianti in esercizio e in corso di costruzione, nonchè alle tendenze predominanti per le elettrificazioni in progetto. Sarò molto breve, anche perchè in realtà gli impianti esistenti, in corso o in progetto, che rivestono i caratteri di *grande trazione*, sono assai meno numerosi di quanto ordinariamente si creda.

E mi si permetta di cominciare dall'Italia, non per solo amore di patria, ma perchè in realtà qui da noi il problema della trazione elettrica ferroviaria fu affrontato, prima che altrove, con impianti di prova su larga scala, estesi fin da principio ad intere linee che sono tuttora in soddisfacente esercizio, e di cui quello ben noto di Valtellina segna un'epoca nella storia della grande trazione elettrica non solo per la sanzione del trifase, ma perchè da esso sono derivate le direttive per gli impianti moderni anche di diverso sistema, quali: l'impiego delle correnti alternate e quindi degli alti potenziali sui fili di servizio, e l'adozione delle basse frequenze.

In Italia le più importanti elettrificazioni fatte, in corso e in progetto, sono tutte trifasi, non perchè in realtà qui da noi si sostenga il trifase ad ogni costo, ma perchè sulle linee costituenti il primo programma di elettrificazioni era il trifase che si presentava come il più adatto e il più conveniente.

Gli impianti in esercizio in Italia sono quello della Valtellina, così noto che non occorre ricordarne le caratteristiche, e quello dei Giovi, che è senza dubbio il più importante impianto europeo oggi in esercizio, descritto ampiamente nella allegata nota.

Sono in corso di esecuzione le elettrificazioni del tronco Bardonecchia-Modane della linea del Moncenisio, che sarà attivata entro la fine dell'anno, e per la quale servirà lo stesso tipo di locomotive dei Giovi; e il tronco Savona-S. Giuseppe della Savona-Torino.

È stato approvato il prolungamento delle linee di Valtellina fino a Milano, ed è allo studio un tipo di locomotiva a grande velocità per il servizio viaggiatori su Milano. Il tipo di locomotiva sarà a 4 velocità (90, 67, 45, 33 $^{1}/_{2}$ Km. all'ora).

L'impianto dei Giovi avrà, entro il triennio prossimo (e per legge approvata), un'importantissima estensione fino a Genova da una parte, sulla linea succursale parallela, e fino a Tortona per i primi tronchi che si costruiscono sulla linea direttissima Milano-Genova.

Sono state progettate ma non ancora approvate altre importanti elettrificazioni, di cui però non terremo parola.

È stata approvata invece la elettrificazione della linea secondaria Torino-Pinerolo-Torre Pellice col sistema monofase.

In Svezia, la seconda nazione che in ordine cronologico ha affrontato con lo studio e l'esperienza diretta il problema della trazione elettrica, il sistema monofase è stato largamente provato e con esito soddisfacente, tanto che un ampio programma di elettrificazioni è stato impostato con l'adozione di quel sistema. Si è cominciato a dar esecuzione a quel programma, ma fino ad oggi nessuna linea è ancora in esercizio.

In Svizzera, l'unico impianto di grande trazione in completo esercizio è quello trifase, ben noto, del Sempione. Sono da ricordarsi i notevoli esperimenti col monofase sulla Seebach-Wettingen, in base ai quali la commissione di studi per la trazione elettrica ha concluso per la scelta del monofase quale tipo da adottarsi per una estesa trasformazione della trazione a vapore in elettrica. Prima conseguenza di questa decisione è la elettrificazione della linea del Lötchberg, di cui si ha ora in esercizio il solo tronco da Spietz a Frütigen. Per questa linea si sono costruiti i motori monofasi più potenti che si abbiano oggi in esercizio; ma non potrà conoscersi il risultato pratico della elettrificazione se non quando l'esercizio sarà esteso alla parte difficile della linea in galleria e sulle forti pendenze.

Altrettanto, circa cioè l'adozione del monofase, è stato deciso ufficialmente in Germania e specialmente in Prussia, nel Baden e in Baviera. In Prussia è cominciato l'esercizio della Dessau-Bitterfeld, tronco a debolissime pendenze della linea Magdeburgo-Lipsia-Halle, con numerosi tipi di locomotive sia per viaggiatori che per merci, di notevoli potenze e a notevoli velocità, costruiti dalle migliori ditte continentali; ma non ne conosciamo — e d'altronde non si potrebbero ancora conoscere — i risul-

tati. Nel Granducato di Baden è in allestimento l'elettrificazione della linea della Wiesenthal, per la quale sono in costruzione notevoli tipi di locomotori. In Baviera, invece, tutto è ancora allo stato di progetto; e molti altri progetti notevoli, tutti basati sull'impiego del monofase, sono pronti in Prussia e nel Baden.

In Austria non si sono avute dichiarazioni ufficiali sulla scelta del sistema, ma si propende pel monofase, quantunque la Südbahn, per alcune linee di primaria importanza, abbia dato nettamente parere favorevole in linea tecnica al trifase, motivandolo con la possibilità di ricuperare in discesa una parte notevolissima dell'energia spesa in salita, trattandosi di applicazione a linee a forti pendenze.

In Ungheria è stato adottato il monofase per la linea Waitzen-Budapest-Gödöllö in corso di elettrificazione, pur dichiarandosi che quella scelta non costituisce alcun precedente per le elettrificazioni avvenire.

In Inghilterra elettrificazioni importanti nel senso inteso e definito al principio, non se ne hanno: il monofase ha trovato fortissimi oppositori anche per le applicazioni a quelle linee in cui il detto sistema troverebbe un vantaggioso impiego; il trifase vi è quasi sconosciuto.

In Russia non ci risulta si siano prese decisioni ufficiali in merito al sistema, nè ci risulta l'esistenza di elettrificazioni importanti.

In Francia nessuna decisione ufficiale. La compagnia Paris-Lyon-Méditerranée ha accettato il trifase per la Bardonnecchia-Modane, propostole dall'Italia, e farà esperienze con uno speciale tipo di locomotiva elettrica sulla Cannes-Ventimiglia. L'alimentazione della locomotiva sarà monofase, ma i motori sono a corrente continua: la trasformazione ha luogo sulla locomotiva stessa. La compagnia del Midi ha iniziato esperienze col monofase sulle sue linee dei Pirenei, per le quali 6 Ditte forniscono ciascuna un locomotore, eguali nella parte meccanica, diversi per l'equipaggiamento elettrico. È stato imposto ai costruttori che questo permetta il ricupero dell'energia. Per questo l'esperienza rivestirà uno spiccato interesse trattandosi del primo cimento cui si sottopone il monofase dal punto di vista del ricupero.

In America il trifase, che, finora e prima che spuntasse all'orizzonte il monofase, non si era mai voluto adottare, ha invece avuto, proprio dopo l'entrata in campo di questo, una notevolissima applicazione nella elettrificazione del Tunnel della

Cascata sulla rete del Great Northern. Il più grandioso e ben noto impianto monofase in esercizio è quello della New-York-New-Haven and Hartford, con una dotazione di oltre 40 locomotive da 1400 a 1600 cavalli.

Seguono, in ordine di importanza, l'elettrificazione del Tunnel di S. Clair del Grand Trunk e quella della Spokane and Inland Railroad. In America, dunque, il monofase si è bene impostato, ma non può dirsi che abbia soppiantato l'antico sistema a corrente continua, e le opinioni seguitano ad essere molto divise circa i vantaggi dell'un sistema o dell'altro.

Nell'America del Sud e specialmente al Cile sono in progetto varie elettrificazioni importanti, ma non è stato ancora deciso se sarà il monofase o il trifase ad essere adottato, quantunque le condizioni delle linee e la qualità del traffico siano quelle che costituirebbero il campo del trifase.

§ 3.

Come terzo punto di questa rassegna considereremo i vantaggi e gli svantaggi presentati dal sistema monofase e dal sistema trifase in quanto oggi possono essere valutati dopo la sanzione della esperienza fattane finora.

Nel paragone supporremo che le caratteristiche di voltaggio e frequenza per i due sistemi siano le seguenti, che sono desunte non soltanto dalla considerazione degli impianti esistenti, ma che già sono state scelte anche come caratteristiche direttive per i futuri impianti e progetti dalle varie commissioni di studio sulla trazione elettrica nominate al principio di questo rapporto.

Impianti	monofasi	tensione	10000	volts	frequenza	15 o 25
"	trifasi	"	3000	"	"	15

In realtà la questione della bassa frequenza nel riguardo del buon funzionamento dei motori non è così imperiosa pel trifase come pel monofase. È opportuno che la frequenza sia bassa per la minore impedenza delle linee, specie per la fase di terra. Comunque, con una frequenza di 15 o intorno a 15, col trifase si possono avere tutte le velocità desiderabili anche con un comando diretto degli assi a mezzo di bielle e manovella, quale è la odierna pratica nella costruzione delle locomotive.

Il limite superiore di voltaggio è assegnato pel monofase

unicamente dalle maggiori o minori difficoltà d'isolamento della linea, perchè con l'impiego del trasformatore sul locomotore detto voltaggio non affetta in nulla il motore. Pel trifase, invece, in cui in generale non si adoperano trasformatori, il limite superiore di voltaggio è assegnato tanto dalla difficoltà di isolamento della linea (negli scambi) quanto dalla costruzione dei motori.

In fatto, si è arrivati anche per questo sistema a linee e motori alimentati direttamente a 10.000 volts in alcuni impianti sperimentali; ma in realtà non si è mai creduto, nelle più recenti installazioni, di dover aumentare i caratteristici 3000 volts, perchè non solo quel voltaggio dà nella costruzione dei motori la migliore ripartizione fra conduttori ed isolanti, ma perchè anche per i locomotori più potenti, in relazione allo sforzo ammesso sui ganci di trazione pel materiale europeo, le correnti che sono in giuoco sono tali da poter essere convenientemente e sicuramente derivate dagli organi di presa, e le conseguenti cadute di voltaggio e perdite sulle linee rimangono entro i limiti di un sicuro ed economico esercizio.

Ciò posto, osserviamo che:

a) Dal punto di vista delle esigenze ferroviarie occorre che un sistema di trazione elettrica risponda a questi requisiti:

I. Realizzazione di coppie e potenze sufficienti in marcia e agli avviamenti.

II. Osservanza degli orari in ogni caso.

III. Possibilità della trazione multipla.

b) Dal punto di vista economico il sistema di trazione deve rispondere a questi requisiti:

1° Per ciò che si riferisce agli impianti:

I. Spese di primo impianto non eccessive sia per rapporto all'equipaggiamento elettrico delle centrali, delle linee, delle sottostazioni e del materiale motore.

II. Semplicità e robustezza delle linee di distribuzione dell'energia.

III. Semplicità e robustezza dell'equipaggiamento elettrico del materiale motore.

2° Per ciò che si riferisce all'esercizio:

I. Massima leggerezza del materiale motore in relazione alle coppie e potenze sviluppabili.

II. Minimo consumo di energia al locomotore e in centrale per unità utile di trasporto.

III. Richiesta di potenze istantanee non eccessive sui consumi medii.

IV. Minime spese di manutenzione pel complesso dell'impianto.

Dall'esame di questi punti scaturiranno altre considerazioni, che andremo svolgendo ordinatamente.

a) I) *Realizzazione di coppie e potenze sufficienti in marcia e agli avviamenti.*

Entrambi i sistemi si sono dimostrati capaci di dare motori fino a 1000 cavalli e oltre (locomotori trifasi dei Giovi e locomotori monofasi Oerlikon per il Lötchberg); entrambi sono capaci di sviluppare coppie sufficienti in marcia e agli avviamenti. È noto che il motore trifase è capace di coppie di avviamento molto più energiche che non il monofase; ma per quello occorre richiamare — come del resto nel monofase — una corrente molto forte che può produrre un abbassamento notevole nella tensione, abbassamento che si ripercuote sul valore della coppia che è appunto proporzionale al quadrato del voltaggio. Gli abbassamenti di tensione non affettano invece il monofase per la presenza del trasformatore di regolazione. Dicono a questo riguardo i sostenitori del monofase che val meglio poter disporre sempre ed in ogni tempo per gli avviamenti di una coppia in eccesso relativamente minore sulla normale, piuttosto che avere un più forte eccedente quando la tensione è normale e vederlo diminuire sensibilmente quando la tensione si abbassa. Ma la pratica ha dimostrato che, se i locomotori sono convenientemente studiati e proporzionati, questi abbassamenti possono essere molto notevoli senza che venga meno la coppia occorrente ad un energico avviamento. E infatti ai Giovi, anche con abbassamento al disotto di 2700 volts, si sono potuti eseguire avviamenti a 45 km. all'ora sul 35 ‰ con una accelerazione di 7 cm. al 1″ per 1″, e in piano con una accelerazione di 25 cm. al 1″ per 1″, valori che difficilmente possono essere raggiunti con locomotori monofasi. In realtà però, in un esercizio ferroviario, la rapidità degli avviamenti non è di così capitale importanza come per le linee tramviarie o metropolitane per la distanza in generale rilevante fra stazione e stazione; ciò non

esclude che tale prerogativa possa costituire un merito per un determinato sistema, purchè non sia ottenuta a costo di altri svantaggi. Questi sarebbero, nel caso del trifase, la necessità di dissipare nel reostato d'avviamento una parte dell'energia richiesta dall'avviamento stesso. Da misure eseguite ai Giovi si è dedotto che l'energia perduta nei reostati di avviamento costituisce bensì il 29 % dell'energia richiesta per l'avviamento stesso, ma soltanto il 2,37 % di quella complessiva per tutto il percorso fra Pontedecimo e Busalla.

Si rimprovera al monofase un bassissimo fattore di potenza agli avviamenti: in realtà, date le tensioni in uso, questo non può avere una grande importanza per l'ingombro che ne risulta sulle linee ai primi momenti, perchè il fattore di potenza, non dipendendo che dalla velocità, si alza subito a migliori valori. Si avranno perdite sulle linee, ma anche queste non possono essere che di limitato valore.

Si rimprovera poi al monofase l'incostanza della coppia per lo svilupparsi di una coppia periodica funzione del quadrato del *seno* che influisce sullo slittamento delle ruote quando essa, sommata con la coppia media, raggiunge un certo valore. Essa influirebbe quindi in definitiva sul peso da stabilirsi come aderente per un determinato esercizio. È stato veramente dimostrato in teoria che alle basse periodicità e per l'effetto di compensazione dato a queste oscillazioni dall'inerzia delle masse rotanti, questo fenomeno non sarebbe sensibile. Ma manca ancora una esplicita conferma della pratica su questo argomento. Del resto per altre ragioni il peso del materiale motore monofase è più forte del trifase e quindi la periodicità della coppia trova spontaneamente compenso in questo maggior peso già esistente indipendentemente da lei.

a) II) *Osservanza degli orari in ogni caso.*

È stato per lungo tempo rimproverato al trifase come un difetto, sotto questo punto di vista, la costanza della velocità. All'atto pratico si è invece constatato che essa costituisce un pregio grandissimo, perchè permette di mantenere rigorosamente gli orari qualunque sia il profilo della linea, qualunque siano le condizioni atmosferiche, qualunque sia il carico, mentre nel monofase viene a far difetto la velocità proprio quando più se ne avrebbe bisogno.

I mezzi a disposizione del trifase (cambiamento del numero dei poli, o accoppiamento in cascata o l'uno e l'altro combinati) dànno modo di ottenere delle velocità di regime molto diverse fra loro, cosa irraggiungibile così soddisfacentemente con il monofase, nel quale il fattore di potenza non è funzione che della velocità: e se quindi si vuol fare lavorare bene il motore sotto questo punto di vista, che a lungo andare nei riguardi della centrale e delle linee oltre che del motore stesso ha certamente una importanza, bisogna farlo lavorare molto presso a quella velocità, per cui il cos φ sia massimo. Onde in realtà — a meno di non volere assolutamente contestare questa importanza — il motore monofase finisce quasi, dal lato della velocità, a divenire più rigido del trifase, o per lo meno a non dover essere considerato così elastico come la sua alimentazione a tensione variabile, senza perdite energetiche, farebbe prevedere e sperare. Ad ogni modo questa elasticità non è abbastanza grande da porre la trazione monofase in condizioni di superiorità sulla trifase.

La quale anzi, come si è detto, disponendo di almeno due velocità molto diverse fra loro, non solo permette di mantenere gli orari, ma permette anche per i treni impostati a piccola velocità (in generale i merci, suscettibili per loro natura dei maggiori ritardi) di ricuperare sui ritardi stessi e migliorare la circolazione complessiva dei treni, quando per qualche tratto si prescriva loro di marciare a grande velocità, con l'enorme vantaggio sulla trazione a vapore e su quella monofase, che il dirigente del movimento può essere sicuro di quanto esattamente sarà ricuperato e regolarsi quindi in tempo per gli spostamenti di incroci e precedenze.

Nell'accoppiamento dei motori in cascata, la coppia motrice risulta leggermente minore di quella che si realizza con i motori in single. Ciò, naturalmente, quando si tratti di macchine ben progettate e dimensionate per un determinato esercizio, non ha importanza. Sta di fatto che si sono trainati ai Giovi treni di composizione normale (380 tonn.) anche con sovraccarichi di 100 tonn. a piccola velocità, mentre per altre ragioni dipendenti dalla sicurezza dell'esercizio non si è ritenuto di sperimentare un simile sovraccarico alla grande velocità.

Voglio qui ricordare, a proposito dell'accoppiamento in cascata, i progressi fatti su questa via.

Nel primo materiale trifase costruito i motori da accoppiarsi

in cascata erano distinti da quelli che funzionavano in single e in questo regime rimanevano inattivi. Poi si riunirono in un unico complesso il motore, diciamo così, primario, con quello secondario, in modo che meccanicamente formavano un tutto unico che elettricamente era distinto in due e dei quali elettricamente uno solo era in funzione nella marcia in single.

Nell'ultimo tipo di locomotori, quello dei Giovi, invece, i motori lavorano sempre. Quello destinato a funzionare da secondario nell'accoppiamento in cascata ha commutabili le bobine dell'avvolgimento dello statore in modo che esse sono percorse in serie e collegate a stella quando il motore è alimentato dalla linea; sono invece percorse in parallelo e collegate a triangolo quando sono alimentate dalle correnti indotte nel rotore del motore primario. Così correnti e tensioni vengono ad essere egualmente ripartite nelle varie bobine nell'un caso e nell'altro.

Nei primi due casi le due coppie venivano quasi a raddoppiarsi, mentre nell'ultimo rimangono pressochè le stesse.

L'impiego poi delle bielle di accoppiamento fra gli assi dei motori ha consentito di ridurre ad uno solo il reostato di avviamento che era doppio nei precedenti tipi.

a) III) *Possibilità della trazione multipla.*

Teoria e pratica hanno dimostrato che è possibile la trazione multipla ad unità comandate col monofase. Più difficile deve riuscire, e non ci risulta sia ancora stata sperimentata, la trazione multipla ad unità indipendenti.

Questa ha una importanza grandissima per le linee a forti pendenze, in cui in generale occorre la spinta in coda e dove riuscirebbe assai ingombrante collegare elettricamente con un cavo corrente lungo tutto il treno la locomotiva in testa con quella in coda.

Per il trifase invece si riteneva fino a poco tempo fa che per la costanza della velocità fosse impossibile l'impiego dei treni ad unità multiple a causa dello squilibrio che si sarebbe avuto nel carico dei motori per la diversità dei diametri delle ruote proveniente dai differenti consumi dei cerchioni. In base a sole considerazioni teoriche c'era anzi chi temeva che uno dei locomotori (quello a ruote più piccole) avrebbe potuto finire per diventare un generatore, trascinato a velocità superiore a quella di sincronismo, cioè con uno slip negativo, dal locomo-

tore a ruote più grandi. In realtà invece treno e binario costituiscono tale un legamento meccanico rigido ed elastico nel tempo stesso fra i due locomotori a comando indipendente, che la ripartizione dei carichi avviene nel modo più soddisfacente ed entro limiti ammissibilissimi in relazione con la potenza dei motori, anche accoppiando locomotori con cerchioni nuovi a locomotori con cerchioni usati, come ha dimostrato la costante pratica che si fa ai Giovi di questo sistema di comando. Si verifica anzi una tendenza costante alla eguaglianza del diametro nei cerchioni fra due locomotori che prestino servizio sempre accoppiati, perchè quello inizialmente con ruote di maggior diametro, assumendosi un carico maggiore (ma sempre entro limiti ammissibili), consuma maggiormente i suoi cerchioni fino a portarli al diametro dell'altro che nel frattempo li consuma di meno, e ciò senza che si abbia a ricorrere a speciali reostati da inserirsi sui rotori dei motori, come la teoria indicherebbe necessario. È questa, ripetiamo, una constatazione pratica di molta importanza risultata dall'esercizio oramai da tempo avviato sulla linea dei Giovi.

Con questa constatazione risulterebbe pure affermata senz'altro, e indipendentemente dalla sanzione pratica avuta, la possibilità del comando ad unità multiple. Ma si è ottenuto ancora di più.

A mezzo di un apparecchio, chiamato relay regolatore, che comanda la inserzione e regolazione automatica del reostato di avviamento in ciascun locomotore, si può impedire ad uno dei due locomotori la chiusura dei suoi motori in corto circuito, ma lasciarli inseriti su un certo valore della resistenza d'avviamento tale da ottenere la ripartizione del carico fra due locomotori in un certo predeterminato rapporto.

Dal lato quindi dell'impiego della trazione multipla, monofase e trifase si equivalgono, quantunque col monofase non sia ancora stata sanzionata dalla pratica la possibilità della doppia trazione con un locomotore in testa e uno in coda comandati indipendentemente: ma in realtà nulla si oppone a ritenerla possibile.

b) 1° I) *Spese di impianto.*

Circa le spese di impianto è difficile stabilire *a priori* quale dei due sistemi sia più conveniente. Occorrerebbe che le varie ditte costruttrici, alle quali poi si deve ricorrere per le forni-

ture, fossero produttrici indifferentemente di macchinario e materiale di trazione di entrambi i sistemi e senza spiccata simpatia per l'uno o per l'altro.

Non crediamo del resto che sia un buon criterio fondarsi soltanto o prevalentemente sul costo di impianto per fare una scelta del sistema da adottarsi. Specialmente quando si tratti di elettrificare linee già esercite a vapore, il nuovo esercizio che va ad impiantarsi esige in generale tali e tanti lavori e provviste accessorie indipendenti dal sistema di corrente, che la differenza dei costi delle linee, delle centrali, del materiale mobile e delle sottostazioni non può costituire che una minima percentuale del capitale di trasformazione.

Su questo argomento ci limiteremo quindi a osservare genericamente che il macchinario monofase è in generale più costoso del trifase a parità di potenza e che altrettanto avviene per le linee primarie di trasmissione.

Per le linee secondarie e per le sottostazioni in generale può essere che il monofase riesca più a buon mercato perchè per le linee secondarie occorre minor rame (in generale le linee di servizio si fanno oggi di sezione non inferiore a 100 mm²); ma in compenso costa assai di più il materiale d'isolamento, maggiore essendo la tensione che in generale si adotta.

Nel sistema monofase può talvolta farsi a meno delle sottostazioni; ma, se occorrono, in generale possono essere situate a maggior distanza che non per gli impianti trifasi, appunto per la maggior tensione che per quelli si adatta.

È evidente che, se non occorra installazione di sottostazioni, in complesso il monofase possa riuscire più economico del trifase: il fatto però che tra gli alternatori della centrale e i locomotori non siano interposti trasformatori fa prevedere *a priori* una condizione di inferiorità dell'impianto nei riguardi della sicurezza e della continuità dell'esercizio, perchè gli alternatori stessi della centrale verrebbero a subire corti circuiti diretti in caso di guasto alle linee, che sono in realtà le più direttamente minacciate e costituiscono le membra più deboli nel complesso organamento di un impianto. Ma anche in questo caso, che non sarebbe consigliabile per le linee di grande importanza (ad onta dei buoni risultati avuti nel caso della elettrificazione della New York - New Haven and Hartford in America già più volte citato), può avvenire però che il maggior costo indiscutibile del materiale rotabile motore (per l'equipag-

giamento più complesso e per il maggior costo dei motori) la importi sul costo complessivo dell'impianto, specialmente se si richiede pel servizio un numero rilevante di locomotori.

Se occorrono invece le sottostazioni, queste saranno in un impianto monofase più distanti che per un impianto trifase; ma, se il servizio vi è ugualmente intenso, quelle monofasi dovranno essere più potenti delle trifasi. Allo stringere dei conti, sia per importanza di macchinario che per entità di fabbricati, nulla impedisce di ritenere in via di massima che i due tipi di impianti vengano a costare egualmente sotto questo punto di vista, tenendo conto che nelle sottostazioni si possono impiantare 3 trasformatori monofasi invece di uno solo trifase, e che quindi la riserva può farsi con un solo trasformatore monofase, e quindi con $^1/_3$ di potenza; e quindi il minor costo del materiale motore prevarrà in ultimo sul maggiore costo delle linee.

Nasce poi la questione pel monofase, se convenga meglio produrre e trasmettere energia trifase e utilizzarla in monofase con qualche artifizio, o se convenga produrla e trasmetterla direttamente in monofase. Nell'un caso e nell'altro l'impianto è certo più costoso che per una utilizzazione sotto forma trifase.

b) 1° II) *Semplicità e robustezza delle linee di servizio.*

Non può mettersi in dubbio che l'equipaggiamento aereo di una linea monofase sia più semplice e più robusto di uno trifase, specialmente per ciò che si riferisce agli scambi; ma non può nemmeno mettersi in dubbio che pel trifase si sia riusciti, ad onta delle difficoltà, a semplificare la costruzione aerea in modo da assicurarle una robustezza che nulla ha da invidiare a quella monofase. E questo non solo per i tipi di sospensione così detti a catenaria o longitudinali, per i quali anzi i tipi trifasi in opera sulla Lecco-Calolzio della Valtellina appaiono sotto molti punti di vista più semplici e robusti di certi tipi di sospensione longitudinale per distribuzione monofase recentemente installati sia in esercizio che a titolo di prova; ma il tipo di sospensione trasversale che si ha avuto ritrosia ad adottare pel monofase, e che si raccomanda per la sua semplicità e leggerezza non disgiunta a robustezza, ha fatto le sue migliori prove negli impianti di Valtellina, del Sempione e dei Giovi ed ha contribuito potentemente a soffocare il pregiudizio che l'equi-

paggiamento aereo trifase sia di difficile costruzione e ancor più di difficile manutenzione.

L'adozione del doppio organo di presa, che elimina l'inconveniente dell'alimentazione in monofase del materiale trifase sotto gli scambi, è oramai una pratica seguita anche nel monofase per ridurre le intensità di corrente da derivarsi, e non costituisce affatto una complicazione nell'equipaggiamento delle locomotive.

Ripetiamo qui cosa già detta, che cioè la minor tensione che si è adottata e che continua ad adottarsi per gli impianti trifasi in confronto ai monofasi costituisce un maggior coefficiente di sicurezza per le linee trifasi. E questo ha, non solo costruttivamente, ma anche dal lato dell'esercizio la sua importanza, perchè il sistema è già stato sperimentato, non solo in lunghe gallerie umide e fumose per il contemporaneo esercizio a vapore che vi si è svolto non solo durante il tempo della costruzione ma anche nel periodo del graduale passaggio dall'un sistema all'altro, mentre ancora non è stato assicurato esaurientemente dalla pratica che una tensione di 10000 volts anche se in monofase non dia luogo a inconvenienti più o meno gravi in circostanze analoghe.

Ne concludiamo quindi che la soggezione della doppia linea aerea in realtà non va considerata come tale, e che a nostro avviso cade anche quest'ultimo appunto in linea tecnica che i sostenitori del monofase fanno al trifase.

b) 1° III) — *Semplicità e robustezza del materiale elettrico motore.*

È riconosciuto da tutti che, costruttivamente, il motore trifase è più leggero, più compatto e più robusto del monofase, specialmente per la mancanza di quell'organo sempre delicato che è il collettore. Il quale non solo impone il limite superiore alla tensione cui può lavorare il motore in marcia normale, ma ancora più la limita all'atto dell'avviamento per evitare eccessive intensità di corrente altrettanto dannose al collettore stesso. Questo impone ancora costruttivamente un limite superiore alla velocità angolare del motore a causa degli sforzi dannosi che potrebbero essere prodotti dalla forza centrifuga, e questa limitazione contrasta con la condizione opposta, che cioè il motore lavora in tanto migliori condizioni quanto più forte è



la sua velocità che deve essere sempre superiore a quella di sincronismo. Ciò porta per conseguenza diretta ad una eccessiva moltiplicazione del numero dei poli, specialmente se vogliansi comandare gli assi motori con accoppiamento diretto o indiretto di bielle e manovelle, ma senza riduzione di ingranaggi.

Invece del collettore i motori trifasi hanno in generale tre anelli collettori per l'inserzione del reostato di avviamento: sono però stati costruiti pel Sempione motori privi anche di questi anelli e chiusi in corto circuito, ma con l'interposizione di speciali resistenze in serie sugli avvolgimenti del rotore, le quali all'avviamento si riscaldano e aumentano il loro valore: però essi sono stati introdotti nella pratica insieme ad un trasformatore di regolazione della tensione che falserebbe in parte una delle prerogative del trifase, di fare a meno cioè del trasformatore di regolazione. Inoltre le resistenze in serie sugli avvolgimenti costituiscono una soggezione come la costituiscono nei motori monofasi, specialmente pel calore che vi si sviluppa. Il trasformatore di regolazione costituisce, oltre che un peso morto non necessario, anche un organo in più suscettibile di guasti nella apparecchiatura monofase, e quindi sotto questo punto di vista la complica. È vero che il trasformatore è per sè stesso un apparecchio robusto, ma bisogna pensare che esso deve essere costruito economizzando in peso, spazio ed isolanti, rinunciandosi molte volte anche al bagno d'olio, a detrimento della robustezza: per queste ragioni costituisce sempre una preoccupazione che non si ha nel trifase. Questo possiede invece il reostato di avviamento che — se a liquido — è poco soggetto a guasti e non desta apprensioni.

Entrambi i motori, monofase e trifase, richiedono un intraferro molto ridotto; ma si è già scesi a mm. 2 pei motori trifasi e a mm. 2,5 pei monofasi, senza che ciò abbia mai dato luogo ad inconvenienti, purchè la lubrificazione dei supporti del rotore sia convenientemente curata, come del resto deve essere attentamente curata in macchine di grande potenza la lubrificazione delle parti anche puramente meccaniche.

Il fatto che l'apparecchiatura trifase di controllo (interruttori, inversori, ecc.) debba avere in generale un polo in più che con l'apparecchiatura monofase, non porta alcuna soggezione, trattandosi di organi che vengono sempre abbondantemente costruiti per il duro servizio cui devono essere in trazione assoggettati.

b) 2° I) — *Massima leggerezza del materiale motore.*

Sia perchè il motore monofase riesce di sua costruzione più pesante del trifase, sia perchè si richiedono sulla locomotiva uno o più trasformatori di regolazione, il cui peso sorpassa abbondantemente il 50 % del peso dei motori, sia per la maggior robustezza che in conseguenza di ciò si richiede alla parte meccanica della locomotiva, sta di fatto che il peso di una locomotiva monofase di egual tipo, di egual potenza e velocità di regime, e quindi costruita per lo stesso tipo di servizio di una locomotiva trifase, pesa molto ma molto di più.

Basta, ad esempio, confrontare fra loro la locomotiva trifase dei Giovi (tonn. 60) e la locomotiva monofase Oerlikon del Lötchberg (tonn. 86), fra di loro perfettamente paragonabili, per rilevare che la monofase pesa oltre il 43 % in più della trifase. Per tipi a carrelli basta confrontare le locomotive di Valtellina con quelle, ad es., destinate al Midi Francese, per rilevare una differenza in peso dello stesso ordine.

I sostenitori del monofase non dànno una eccessiva importanza a questo maggior peso, accontentandosi di rilevare che esso è comunque inferiore a quello delle locomotive a vapore.

Per le linee pianeggianti, in cui il peso del treno è in generale molto rilevante rispetto al peso della locomotiva, pur notando che la differenza fra un locomotore trifase e uno monofase è nell'ordine del peso di un carro carico o di una vettura viaggiatori, questa differenza, dico, non può costituire un forte svantaggio pel monofase; ma se ci riferiamo alle composizioni di treni su linee a notevoli pendenze, allora questa differenza viene ad assumere un valore grandissimo.

La composizione dei treni ai Giovi è di 380 tonn. di treno con 120 tonn. di macchine. Il peso dell'organo motore è adunque il 31,6 % del peso utile.

Impiegando due locomotori monofasi, il loro peso sarebbe di 172 tonn. e rappresenterebbe perciò oltre il 45 % del peso stesso.

In totale il secondo treno peserebbe 52 tonn. in più del primo, cioè oltre il 10 % in più.

Onde non è a dirsi che la questione della diversità del peso non abbia importanza. Questa prerogativa del trifase è una di quelle maggiormente apprezzate dai ferrovieri.

Si è affacciato da qualcuno il dubbio che il peso dell'equi-

paggiamento elettrico trifase possa anzi risultare in certi casi troppo piccolo in relazione alla potenza e allo sforzo di trazione di cui sarebbero capaci i motori, e che quindi si debba essere obbligati a ricorrere allo zavorramento dei locomotori per aumentare il peso aderente. Ora, tenuta presente la circostanza che ciò non si è mai verificato, mentre si sono costruite locomotive che hanno già raggiunto nello sforzo di trazione disponibile al gancio il limite di resistenza del gancio stesso per il nostro materiale europeo, questo dubbio dovrebbe cadere da sè stesso. Ma supponiamo che questo potesse anche avvenire: e allora sarà più conveniente pagare zavorra a pochi centesimi al Kg. o materiale elettrico a qualche lira al Kg.? La risposta non può essere dubbia.

b) 2° II) — *Minimo consumo di energia al locomotore e in centrale per* ***unità utile*** *di traffico.*

Premettiamo che sembra razionale riferirci alla ***unità utile*** di traffico e non alla unità lorda o totale, perchè appare giusto tener conto non del solo rendimento dei motori, ma anche del minor peso morto da trainare per raggiungere un determinato effetto utile: del resto è in ogni caso il costo della ***unità utile*** di traffico quello che interessa.

Premettiamo inoltre che una risposta esauriente al quesito, che è di capitale importanza, non si potrebbe avere se non esercitando successivamente coi due sistemi la stessa linea e con lo stesso traffico. Ciò evidentemente non si farà mai, perchè importerebbe spese troppo forti, ma con semplici argomentazioni non ci sembra difficile arrivare a stabilire qualche cosa di concreto egualmente.

I rendimenti del motore trifase e del motore monofase, considerati in loro stessi, non sono molto diversi, e, se qualche piccola differenza c'è, essa è a favore del trifase: il monofase è più economico negli avviamenti, ma abbiamo già visto incidentalmente quanto poco valore abbiano in pratica le perdite reostatiche del trifase: comunque, sono di un ordine che le perdite nel trasformatore di regolazione dell'equipaggiamento monofase loro sono perfettamente comparabili e anzi le sorpassano.

Abbiamo invece vista l'importanza del minor peso che si traduce precisamente in un minor consumo di energia per ***unità utile*** di ***traffico***. Ad esempio, un treno dei Giovi consuma, quando

non si abbia ricupero, Watt-ore 90,33 per tonn. Km. reale di treno completo, cioè Watt-ore 118 per tonn. Km. reale di treno utile. Essendo 65 la lunghezza virtuale del tronco, la cui lunghezza reale è Km. 10,5, il consumo per tonn. Km. virtuale di treno completo e di treno utile è rispettivamente di Watt-ore 14,5 e 18,8.

Ma la possibilità del ricupero, specie sulle linee a notevoli pendenze, riduce ancora in modo molto notevole questo consumo, e la sua azione risale anche alla Centrale, e con una importanza tale da far sparire qualsiasi vantaggio che potrebbe assegnarsi al monofase per le minori perdite sulle linee e nelle sottostazioni, quantunque anche indipendentemente dal ricupero si sia visto che l'importanza del minor consumo di energia per il minore peso del materiale motore sia di un ordine molto superiore a quello delle maggiori perdite sulle linee e nelle sottostazioni.

Il ricupero è possibile, teoricamente, anche col monofase, ma finora, o perchè non gli si volesse assegnare quella importanza che ha, o perchè le difficoltà e le complicazioni per ottenerlo non fossero ancora state appianate, non si era ancora visto applicato in pratica questo dispositivo del ricupero. Ora il Midi Francese per le sue linee di prova ai Pirenei lo ha imposto alle case costruttrici. Occorre però stare a vedere se e come un tale provvedimento riuscirà in linea tecnica ed economica.

All'impianto dei Giovi invece il ricupero è già applicato in via normale, e si conoscono già interessanti e rimarchevoli risultati.

Un treno discendente, di egual peso di un treno ascendente, restituisce, della energia assorbita, rispettivamente il 62 %, il 57 % e il 50 %, sulle discese del 35 ‰, del 29 ‰ e del 21 ‰, a grande velocità, mentre per le discese a piccola velocità le restituzioni sono rispettivamente del 55 %, 52 % e 48 %.

Per una corsa completa in discesa a grande velocità si rende disponibile complessivamente il 40 % dell'energia assorbita in salita.

Sulla utilizzazione dell'energia messa a disposizione dai treni discendenti devonsi fare queste osservazioni:

Se contemporaneo al treno in discesa vi è un treno in salita, questo utilizza integralmente l'energia liberata dall'altro, e la Centrale non è chiamata che a fornire l'energia-differenza delle due, perdite a parte. Se la sovrapposizione del treno in salita

col treno in discesa non ha luogo che parzialmente o non ha luogo affatto, allora, prima che debba intervenire una azione distruggitrice dell'energia restituita, se questa non può essere accumulata, essa viene impiegata utilmente a sopperire le perdite sulle linee e per la marcia a vuoto delle sottostazioni, al funzionamento dei condensatori (se la Centrale è termica) e per mantenere in marcia a vuoto, come motore sincrono, il gruppo o i gruppi generatori. Sono, in generale, parecchie centinaia di Kw. in impianti di una certa importanza. Ai Giovi sono circa 730 Kw. così ripartiti: 190 Kw. per la marcia a vuoto delle sottostazioni; 180 Kw. per l'azionamento dei condensatori; 360 Kw. per mantenere in marcia a vuoto i gruppi generatori. Sono adunque ai Giovi sempre 730 Kw. circa risparmiati in ogni caso. L'accumulazione del sovrappiù di energia restituita darebbe luogo a dispositivi troppo complicati e costosi e vi si rinuncia, accontentandosi di dissiparla in un reostato a liquido, ma profittando comunque del vantaggio grandissimo di discendere con velocità uniforme, a freni aperti e senza consumo di ceppi e cerchioni. Di questo risparmio si parlerà più oltre; ma qui conviene notare che la quantità di energia che va dissipata nel reostato è sempre molto piccola: nulla in generale per treni discendenti a piccola velocità, alquanto sensibile, ma per brevi istanti, nelle discese a grande e solo in corrispondenza delle pendenze massime.

Si è verificato infatti che il risparmio di combustibile alla Centrale dei Giovi per un movimento in ascesa mensile di oltre tonn. 400.000, e per un movimento in discesa di circa tonnellate 275.000, cioè 1,5 volte minore, il risparmio sul consumo di combustibile è stato del 16 %, risparmio che si avvicina, a meno di qualche per cento, al risparmio teorico realizzabile con quella data proporzione di traffico fra l'ascesa e la discesa, e tenuto conto che il servizio non è continuo, ma interrotto per circa 6 ore, durante le quali va consumato carbone per il fuoco di riserva e per riattivare la combustione e la pressione alla ripresa del servizio all'indomani; consumo che in nessun caso di esercizio interrotto può essere eliminato anche con un ricupero completo dell'energia.

Durante la discesa dei treni con ricupero è evidente che tutti i veicoli vanno a spingere contro la locomotiva. In Svizzera è prescritto invece che, fin che si può, l'azione frenante debba essere esercitata sopra tutti i veicoli di un treno, in modo

che anche nelle discese gli organi di attacco abbiano a risultare, fin che si può, tesi anzichè compressi. Ciò evidentemente vieta il ricupero, e giustifica la poca considerazione che può avere colà il vantaggio che esso apporta. Ma una condizione così restrittiva, e direi quasi eccessiva, non risulta vigente presso nessun'altra nazione. Ai Giovi la velocità di discesa, che era di 30 Km. all'ora pei treni a vapore, è stata portata a 45 pei treni elettrici.

Si è accennato che anche col monofase si potrebbe avere il ricupero, ma che finora esso non è stato sperimentato. Non si ritiene però che esso possa permettere una così regolare discesa come si ottenne col trifase, e che essa anzi possa in qualche caso presentare qualche deficienza rispetto alla sicurezza e regolarità della marcia dei treni. Il vantaggio che si ottiene anche dal solo lato della regolarità di discesa col trifase è tale che in America la Great Northern ha persino rinunziato a qualsiasi vantaggio economico proveniente dal ricupero, pur di avvantaggiarsi con la regolarità di marcia, col minor consumo di ceppi, cerchioni e rotaie, mandando a dissipare immediatamente nei reostati dei locomotori tutta l'energia restituita.

L'utilità del ricupero non comincia a manifestarsi in via diretta sul minor consumo per unità utile di traffico se non su pendenze fra il 6 e l'8 °/₀ a seconda della velocità; ma non vi è linea importante, si può dire, ove non esistano di tali pendenze, per lo meno in Italia.

Comunque, anche indipendentemente da questo, ci pare che il trifase la vinca nettamente sul monofase dal lato del minor consumo per unità utile di traffico, e che quindi, specialmente quando si tratti di impianto con centrale termica, il trifase sia nella massima parte dei casi da preferirsi.

b) 2° III) — *Richiesta di potenze istantanee non eccessive sui carichi medii.*

Le massime potenze istantanee si hanno in generale agli avviamenti; sono più forti nel trifase che nel monofase, ma per quello possono limitarsi curando l'avviamento a intensità costante, e facendo uso successivo dei diversi regimi di velocità messi a disposizione. Con questo mezzo si riesce ad ottenere degli avviamenti energici e rapidi senza oltrepassare le energie richieste in piena corsa sulle maggiori pendenze.

Ma si sono notate a favore del trifase delle circostanze fin

ora non rilevate, che costituiscono una prerogativa molto interessante del sistema stesso.

Le punte sono a temersi quando si abbia sovrapposizione di uno o più treni in marcia con uno o più treni in avviamento. Ora si è sperimentalmente rilevato che, quando sulla linea si abbiano treni in corsa sia ascendenti, sia — e meglio — discendenti, la massa enorme di questi treni funge da volano di fronte all'istantaneo abbassamento di frequenza prodotto dal treno in avviamento per l'aumentato carico.

Non sono in grado di dare una valutazione quantitativa esatta di questo utilissimo fenomeno perchè esso dipende da molte circostanze, quale il peso dei treni in moto, le pendenze su cui si trovano, il carico complessivo della linea, e non ultima la sensibilità dei regolatori delle motrici, ma posso affermare che esso è molto appariscente, avendo rilevato in certi casi che le punte si sono sbassate fino ad oltre il 30 % di quello che avrebbero dovuto essere.

Il fenomeno è degno di una accurata serie di prove: è certo che nei progetti avvenire non occorrerà tenere un eccessivo conto delle punte che risultano dai calcoli.

b) 2° IV) — *Minime spese di manutenzione.*

Si conoscono dati relativi a varie installazioni, ma esse hanno così diverse caratteristiche di traffico, appartengono a nazioni in cui il costo della mano d'opera e dei materiali può essere così diverso, sono di così diversa epoca d'impianto, che non ci si può fidare. Occorrerebbe tale un rimaneggiamento di queste cifre per renderle omogenee, che alla fine resterebbe sempre giustificato il dubbio sul loro valore.

E val meglio quindi fin da principio accontentarsi di una analisi generica dei vari capitoli di spesa.

Per ciò che si riferisce al materiale motore e per la parte elettrica, la maggior robustezza del motore trifase deve produrre una minor spesa di manutenzione: come minore deve essere quella per il reostato che non per i trasformatori di regolazione. Per la parte meccanica in sè stessa non dovrebbe aversi differenza fra i due sistemi, ma, se comprendiamo sotto questa voce il ricambio dei ceppi e dei cerchioni non solo dei locomotori ma anche dei carri e delle vetture viaggiatori, si ha pel trifase una spesa di manutenzione diminuita di molte

migliaia di lire all'anno e per locomotore, da stabilire nettamente per questo sistema la superiorità in questo capitolo di spesa.

Le spese di manutenzione della linea aerea sembrerebbe, a prima vista, dovessero essere molto minori pel monofase che non pel trifase. Non riteniamo però che questa differenza possa essere rilevante, perchè il materiale di isolamento, quantunque impiegato in maggior copia, è però meno costoso perchè minori sono le tensioni. Non c'è oggi linea monofase che non abbia il tipo di sospensione longitudinale, mentre pel trifase continua ad essere adottato il trasversale. In complesso questo non può dirsi molto più complicato e di più costosa manutenzione del monofase longitudinale.

I capitoli di spesa per la manutenzione delle centrali, delle primarie e delle sottostazioni non possono differire molto fra i due casi.

E se l'importanza del materiale rotabile bilancia quella degli impianti fissi, alla fine dei conti le spese di manutenzione per l'intero impianto trifase, se non saranno molto minori, non saranno nemmeno maggiori di quelle per un impianto monofase.

§ 4.

Concludendo, in base all'esame fin qui fatto pare che il campo di azione dei due sistemi debba delimitarsi come segue:

Sistema monofase (a 10.000 volt, e 15 — 25 periodi) per linee di limitata importanza con traffico non molto forte, a profili più o meno accidentati, ma con prevalenza di livellette pianeggianti, di notevole lunghezza, ma in modo che possa farsi a meno di sottostazioni di trasformazione, e di una primaria distinta dalla linea di servizio, e con Centrale preferibilmente idraulica propria ed esclusiva per la trazione.

Sistema trifase (a 3000 volt e 15 periodi) per linee a grande traffico, richiedenti unità pesanti di treni, con andamento altimetrico accidentato e lunghe livellette a notevoli pendenze. Conveniente in modo speciale quando si abbiano centrali termiche o si debba acquistare l'energia dai terzi.

E fin qui ritengo che ognuno possa convenire su quanto ho esposto.

Come mio parere personale voglio aggiungere che, se oggi si fosse obbligati a scegliere un sistema unico da adottarsi su larga scala, non esiterei a consigliare il trifase, non solo per quanto emerge dall'esame fin qui fatto, ma anche per queste ragioni che hanno certamente la loro importanza, e cioè:

1° Il trifase conta su una esperienza assai più lunga del monofase; è già noto che cosa e quanto può dare, mentre pel monofase ancora devono ricevere la sanzione pratica problemi come quello del ricupero, che hanno — checchè dir se ne voglia — una importanza molto rilevante;

2° Il motore trifase è vecchio, nessuna modificazione sostanziale ha subìto dal suo primo apparire nel campo della trazione: il monofase è più nuovo, e si presenta con tipi molto diversi fra loro sul principio di funzionamento, sul comportamento, e come costruzione. Si può dire che tanti sono i tipi quante le case costruttrici di materiale di trazione. E la serie dei brevetti non accenna a finire. Quale è il tipo migliore? Ogni inventore risponderà che è il suo. Intanto chi deve scegliere ancora non lo sa, e ne fanno fede le recenti elettrificazioni, per le quali sono stati ordinati altrettanti equipaggiamenti elettrici per un medesimo tipo di locomotiva, quante erano le unità ordinate. Mentre è probabile che fra 10 anni il motore trifase continui ad essere sempre quello, non è affatto improbabile che si abbiano allora altri tipi e migliori di motori monofasi. Un impianto trifase fatto oggi sarà sempre nuovo, un monofase potrà essere antiquato a quell'epoca, e allora si finirà per avere un museo di macchine, con quale economia nelle scorte dei pezzi di ricambio ognuno può imaginare, se non si vorrà rinnovare il materiale, e se non si vorrà continuare ad ordinare materiale antiquato;

3° Per quanto si facciano progetti di elettrificazioni di intere reti o di complessi gruppi di linee, in realtà, a causa degli enormi capitali occorrenti, non si potrà procedere che molto adagio, e si dovrà cominciare dalla elettrificazione di quelle linee o anche di quei soli tronchi di linea dove l'attuale potenzialità con l'esercizio a vapore comincia a venir meno. Sono precisamente le linee di montagna di grande comunicazione, le linee di confine, quelle contenenti lunghi e difficili sotterranei. Sono precisamente le linee che costituiscono il campo del trifase.

ALLEGATO

La elettrificazione della vecchia linea dei Giovi nelle grandi arterie Genova-Milano e Genova-Torino

§ 1. — Generalità.

Le comunicazioni ferroviarie fra Genova e Milano da un lato e fra Genova e Torino dall'altro, si avvalgono della stessa linea fra Genova e Novi, divenendo distinte solo a partire da quest'ultima stazione. Ma nel tronco Genova-Novi, e precisamente fra Sampierdarena e Ronco, ha luogo l'attraversamento del colle dei Giovi della catena degli Appennini, che circondano la Liguria e costituiscono lo scheletro longitudinale d'Italia.

Da principio per tale attraversamento non esisteva che la *vecchia linea* dei Giovi (Sampierdarena-Rivarolo-Bolzaneto-Pontedecimo-Busalla-Ronco), aperta all'esercizio sul finire dell'anno 1853. Questa linea presenta livellette di poca pendenza fino a Pontedecimo; ma fra Pontedecimo e Busalla (Km. 10,5) furono concentrate tutte le pendenze necessarie al detto attraversamento, il quale comporta, fra quelle due stazioni, un dislivello di m. 271 e quindi una pendenza media del 27 $^0/_{00}$ circa e pendenze massime del 35 $^0/_{00}$ allo scoperto e del 29 $^0/_{00}$ nella galleria principale lunga circa Km. 3,3. Anche l'andamento planimetrico è accidentato da numerose curve e controcurve con raggio di m. 400, intercalate da brevissimi rettilinei ridotti a 40 o 50 metri.

Questo tronco, benchè a doppio binario, costituì ben presto una strozzatura alla potenzialità della linea Genova-Novi, perchè i treni non vi potevano essere che di assai limitata composizione, non essendo le locomotive a vapore in grado di sviluppare che velocità molto ridotte, per cui la distanza in tempo fra un treno e l'altro doveva essere molto notevole per evitare gli inconvenienti del fumo.

Onde si vide subito la necessità di costruire una seconda linea, pure a doppio binario, che fu aperta all'esercizio nel 1889, chiamata la *succursale* dei Giovi, in cui le pendenze massime furono limitate al 12 $^0/_{00}$ nella lunga galleria di Ronco collo sviluppo di Km. 8,3 e al 16 $^0/_{00}$ allo scoperto.

Per aumentare la capacità di traffico di entrambe le linee e per rendere più sicuro l'esercizio fu in seguito applicata la ventilazione artificiale nelle due gallerie principali, e detti impianti funzionarono nel 1900. Nel 1903, mediante altri impianti di ventilazione, si potè stabilire un posto di blocco a metà della galleria di Ronco ed aumentare ancora la potenzialità della *Succursale.*

L'introduzione di potenti locomotive a vapore, quali quelle del gruppo 470 delle Ferrovie dello Stato, portò un ulteriore contributo all'aumento della capacità delle dette linee; ma se oggi esse sono in grado di smaltire il traffico del porto di Genova, non lo saranno più tra breve, per il continuo ed incessante aumento dell'attività del porto stesso.

Occorre ricordare infatti che il traffico complessivo del porto di Genova, che fino al 1878 non raggiungeva il milione di tonnellate all'anno, è andato aumentando considerevolmente, tanto che ora ha sorpassato i 7 milioni. Questo traffico è quasi esclusivamente di sbarco (solo il 16 $^0/_0$ è d'imbarco), e del traffico di sbarco più dell'80 $^0/_0$ viene avviato all'interno per ferrovia, e del quale l'80 $^0/_0$ circa va inoltrato attraverso le due linee dei Giovi, avviandosene circa l'8 $^0/_0$ verso Ventimiglia (confine Francese), il 5 $^0/_0$ verso Pisa e il resto arrestandosi a Sampierdarena, od avviandosi per linee locali di minore importanza.

L'incremento del traffico del porto di Genova è continuo e quasi costante: da accurate statistiche stabilite da apposite commissioni, che hanno studiato profondamente il problema del movimento di quel porto per il passato e nelle previsioni avvenire, in relazione alle comunicazioni ferroviarie atte a dargli sfogo, risulta che l'incremento annuo del movimento merci è di 175.000 tonnellate (delle quali 160.000 sbarcate e 15.000 imbarcate), cifra che si mantiene assai vicina agli incrementi annuali assoluti, onde può ritenersi che essa rappresenti l'incremento medio naturale del traffico, da potersi quindi tenere a base di calcolo per le previsioni in un periodo avvenire di un ventennio almeno.

In base a quelle cifre è stato previsto che nel 1923 si avrà un movimento di circa 10 milioni di tonnellate, di cui 8,5 milioni sbarcate, e di queste oltre 6,5 milioni da spedirsi per ferrovia. Ammettendo che il trasporto si faccia con carri pesanti, carichi in media di tonnellate 18 (di cui 10,5 utili e 7,5 di tara), si avrebbe in quell'epoca un movimento annuo di carri verso l'interno di circa 600.000, cioè, tenendo conto delle giornate non lavorative, di circa 1900 carri al giorno. Questo se il movimento fosse uguale in ogni mese dell'anno; ma per tener conto delle variazioni di movimento e di circostanze eccezionali dovrà prevedersi che la potenzialità di smaltimento delle due linee dei Giovi (compresovi il traffico locale) debba arrivare per quell'epoca a oltre 2000 carri al giorno.

Ora, tenuto conto che insieme col movimento merci deve svolgersi quello viaggiatori locale e di transito verso Milano e Torino, si è, in base ad esperienze pratiche, verificato che il movimento massimo possibile è quello risultante dal prospetto seguente:

Succursale:	Treni 54 di 29 carri =	Carri 1576
Vecchia linea:	" 22 " 17 " =	" 374
		Totale Carri 1950

e quindi insufficiente fra breve alle esigenze del porto di Genova.

Ed è perciò che lo Stato Italiano nell'assumere nel 1905 l'esercizio delle ferrovie, pur iniziando gli studi per un terzo congiungimento diretto fra Genova e Milano, mediante linea direttissima da costruirsi, che non avrebbe potuto aprirsi all'esercizio che fra molti anni, portò subito la sua attenzione sulla questione di aumentare la potenzialità della vecchia linea dei Giovi, molto bassa rispetto a quella della Succursale.

E dall'esame dei vari progetti (adozione di funivie per il trasporto dei carboni che costituiscono il 50 % circa del movimento del porto di Genova, correzione delle livellette in modo da diminuire la pendenza massima fra Pontedecimo e Busalla, adozione di locomotori a cremagliera, trasformazione in elettrico del sistema di trazione), risultò che il più conveniente era quello della elettrificazione, specialmente dopo che erasi dimostrata con l'esperienza realizzabile la doppia trazione con locomotive elettriche a unità indipendenti, con una locomotiva in testa ed una in coda al treno senza bisogno di alcun collegamento elettrico fra loro.

E che la elettrificazione dovesse risultare il mezzo più conveniente, anche ricorrendo ad una centrale a vapore, risulta senz'altro dalla considerazione di ordine generale, che cioè tale provvedimento è tanto più conveniente quanto maggiore è il consumo di energia per unità di trasporto, e sotto questo punto di vista il tracciato della vecchia linea dei Giovi fra Pontedecimo e Busalla costituiva un esempio importante per l'elettrificazione.

Quanto al sistema da scegliersi non era nemmeno da porsi in dubbio che il più conveniente fosse il trifase ad alto potenziale sulla linea di servizio (3000 volts) e a bassa frequenza (15 periodi), non solo per i soddisfacenti risultati avuti in Valtellina, dove quel sistema aveva pienamente corrisposto a tutti i requisiti della grande trazione ferroviaria, ma perchè sulla linea dei Giovi in modo eminente avevano modo di estrinsecare tutto il loro alto valore le tre caratteristiche del sistema stesso, e cioè massima leggerezza del materiale motore, autoregolazione della velocità in discesa, ricupero di una notevolissima parte dell'energia consumata in ascesa.

Il programma di esercizio preso a base del progetto fu il seguente:

Inoltro da Pontedecimo a Busalla di treni di tonn. 380 di peso alla velocità di 45 Km. l'ora, rimorchiati da un locomotore elettrico in testa e da uno di spinta in coda, costituiti cioè da 21 carri del peso medio, carichi di tonnellate 18 ciascuno. (Questo peso dei treni risulta limitato così dallo sforzo massimo ammesso al gancio di trazione del nostro materiale ferroviario e per quella linea). Questi treni dovevano susseguirsi, in un primo periodo, a distanza di 15 minuti primi.

Fu previsto il caso che, con l'aumento del traffico, i treni potessero seguirsi,

a soli 10 minuti di distanza e ciò sia in un periodo normale di lavoro di 18 ore al giorno, sia in quello massimo di 20 ore.

Adottando un coefficiente di utilizzazione, che è risultato da determinazioni sperimentali fatte con il più intenso possibile esercizio a vapore (e che quindi costituisce un minimo per l'esercizio elettrico, suscettibile per sua natura di maggiore regolarità) del 0,70, il numero dei carri che si possono inoltrare per i Giovi normalmente, è nelle quattro ipotesi fatte il seguente:

	per 18 ore	per 20 ore
a 15′	1058	1176
a 10′	1587	1764

Se a questi numeri si aggiungono i 1566 carri che costituiscono la potenzialità massima compatibile con un regolare servizio della linea succursale dei Giovi, si avrà la potenzialità complessiva del tronco Genova-Ronco per Milano e Torino superiore di molto alle presenti necessità del porto di Genova e a quelle prevedibili per oltre un ventennio in avvenire.

Nel primitivo progetto la elettrificazione era limitata al tronco Pontedecimo-Busalla; più tardi si è avvertita la convenienza di far partire una parte dei treni merci a dirittura dal parco del Campasso, col che la linea elettrificata ha raggiunto la lunghezza di Km. 19 circa.

Il parco del Campasso, formato sopra un'area della lunghezza di m. 1200 e larghezza massima di 180, con 27 Km. di sviluppo di binario, capace di circa 2000 carri, situato nella immediata vicinanza del porto, serve di regolatore al movimento dei treni merci caricati al porto e diretti ai Giovi, nonchè per il concentramento e manovre di selezione e raggruppamento dei carri vuoti, in modo da permettere un costante rifornimento di materiale al porto: operazione importantissima questa per il fatto, già accennato, che essendo solo il 16 $^0/_0$ il traffico d'imbarco, occorre fornire gli scali di carri vuoti per le merci sbarcate.

Nel progetto originario il servizio viaggiatori doveva essere limitato a quello locale, mentre diretti e direttissimi per Milano e Torino avrebbero dovuto essere instradati sulla Succursale. Invece, all'atto pratico, la massima parte di detti treni diretti e direttissimi viene avviata sulla linea elettrificata, specialmente per togliere ai viaggiatori la noia del fumo nella lunga galleria dei Giovi, e per lo stesso servizio viaggiatori e quello merci locale ora si sta estendendo la elettrificazione al tratto Rivarolo-Sampierdarena.

Senonchè i treni viaggiatori sono costretti a marciare alla stessa velocità di 45 Km. all'ora dei treni merci, non essendosi ancora provveduto a locomotive più veloci. Una velocità di 45 Km. all'ora non è grande in sè stessa, ma è notevolissima rispetto a quella di Km. 25 all'ora alla quale transitavano prima anche i diretti sulla tratta Pontedecimo-Busalla. Sono però in studio locomotori elettrici più veloci pel servizio viaggiatori.

§ 2. — Cenni descrittivi dell'impianto.

a) Centrale generatrice. — Non essendovi nelle vicinanze della linea da elettrificare cadute d'acqua sufficienti ad alimentare un'unica Centrale idraulica, e prevedendosi ad ogni modo la necessità di un sussidio e di una riserva costituita da una Centrale termica (il che avrebbe aumentato notevolmente le spese d'impianto), fu stabilito di eseguire senz'altro tutta a vapore la stazione generatrice dell'energia elettrica. La così detta Cava della Chiappella, sita, si può dire, sul porto stesso di Genova, si prestava all'impianto non solo per la facilità dell'approvvigionamento del carbone, ma anche per la possibilità di utilizzare l'acqua di mare per la condensazione.

L'installazione del macchinario generatore è limitato per ora ad un turbo alternatore della potenza di 5000 Kw. normale; e di un secondo ad esso uguale per la riserva, servito da una batteria di 7 caldaie, delle quali una di riserva, invianti i prodotti della combustione in un camino di 3 m. di diametro interno e di 78 m. di altezza sul piano delle griglie, attraverso ad una doppia batteria di economizzatori. Ma nel disegno del fabbricato della Centrale è stata prevista la possibilità della installazione di un terzo turbo-alternatore di uguale potenza, con relativa batteria di caldaie e accessori e con annesso camino; mentre non si avranno difficoltà ad un ulteriore aumento di un'altra ugual unità nella sala delle motrici, e alla esecuzione di un ampliamento della Centrale per far posto ad una terza batteria di caldaie e relativi accessori. Limitandoci ad accennare all'impianto eseguito, osserveremo che la batteria delle caldaie è costituita da 7 unità Babcok & Wilcox multitubolari inesplosibili, aventi ciascuna una superficie riscaldante di 374 mq. e un soprariscaldatore tale da portare il vapore, generato a 16 atmosfere, ad una temperatura di 330° e cioè con un surriscaldamento di 128°. Il caricamento del carbone per ora viene fatto a mano, ma tutto è predisposto in modo che sia possibile in seguito l'applicazione del caricamento automatico. Il carbone viene portato e distribuito alle caldaie direttamente dalle chiatte che accostano il ponte Biagio Assereto del porto di Genova, dalle quali viene preso a mezzo di una gru, scaricato in una tramoggia, pesato automaticamente a mezzo di una bilancia automatica, e poi distribuito ad un sistema di due convogliatori meccanici, uno in prosecuzione dell'altro, e capaci di trasportare 40 tonnellate di carbone all'ora. I convogliatori vanno a scaricare in un carbonile pensile sito in alto lungo l'asse longitudinale della sala caldaie, e nel loro cammino di ritorno asportano le ceneri che vanno a depositarsi in apposito serbatoio a torre, da cui periodicamente sono scaricate in chiatte e portate in alto mare.

I prodotti della combustione attraversano due batterie di economizzatori comprendenti 640 tubi con una superficie totale di scaldamento di 600 mq., capaci di sopraelevare di 50° la temperatura dell'acqua di alimentazione che



è di 30 a 40 mc. all'ora. Questa proviene dagli acquedotti di Genova e si deposita in ampi bacini sotto la sala delle caldaie, e che costituiscono una rilevante riserva (6000 mc. circa) in caso d'interruzione nella fornitura dell'acqua.

Per l'alimentazione delle caldaie si hanno due pompe Worthington compound, di cui una di riserva, ciascuna della portata di litri 15 al secondo, cioè di mc. 54 all'ora. Il vapore di scappamento delle pompe è impiegato anch'esso per il riscaldamento preventivo dell'acqua di alimentazione prima che entri negli economizzatori, a mezzo di apposito riscaldatore.

Nelle condutture che adducono l'acqua di alimentazione dalle pompe agli economizzatori sono intercalati dei filtri per modo che l'acqua di alimentazione entri in caldaia priva di qualunque traccia di olio. Ciascuno dei due gruppi turbo-generatori, di cui uno di riserva, installati nella sala delle macchine, è costituito da una turbina a vapore, del tipo Westinghouse-Parson, direttamente accoppiata ad un alternatore producente corrente trifase a 15 periodi alla tensione di 13.000 volts efficaci fra fase e fase.

Il turbo-generatore (che mediante un regolatore sensibilissimo si mantiene ad una velocità di 900 giri al minuto, qualunque sia la oscillazione del carico, e salvo le variazioni necessarie per mettere in parallelo gli alternatori) possiede la potenza economica di 5000 Kw. effettivi misurati al quadro, ma può sviluppare normalmente e in modo continuo anche la potenza di 6250 Kw. effettivi e quella massima di 10.000 Kw. per la durata di 5 minuti primi.

Le turbine normalmente funzionano con condensazione mediante condensatori a miscuglio Westinghouse-Leblanc, due per ciascun gruppo, che utilizzano l'acqua marina portata alla sala dove sono installati da un grande cunicolo proveniente dal mare, e nella parte superiore del quale si svolge anche uno dei convogliatori meccanici del carbone.

Ogni turbina è accoppiata direttamente a un generatore trifase a 13.000 volts e 15 periodi, che fa quindi 900 giri al minuto, di potenza uguale a quella della turbina, e capace degli stessi sovraccarichi.

L'alternatore è eccitato mediante eccitatrice montata sull'asse comune del gruppo e che fornisce corrente a 50 volts. Il regolatore Tjrrill agisce in modo da aumentare la tensione in Centrale al crescere dei carichi sulla linea allo scopo di avere ai locomotori la tensione più costante possibile.

Nella sala delle macchine si ha pure una installazione ausiliaria costituita da un gruppo di eccitazione di riserva della potenza di 100 Kw. effettivi, destinato anche ai servizi secondari della Centrale.

Esso è composto di una motrice a vapore compound ad alta velocità (450 giri al minuto) e da una dinamo a 50 volts continui, direttamente accoppiata.

Il quadro di distribuzione è con comando a *relais* e due terne di sbarre omnibus. Gli apparecchi ad alta tensione sone contenuti in strutture cellulari poste dietro il quadro di comando.

Oltre ai soliti apparecchi esso possiede un *controller* elettrico che agisce

sul regolatore delle turbine per facilitare la messa in parallelo degli alternatori.

Siccome i motori trifasi quando vengono trascinati a velocità superiore a quella di sincronismo si convertono in generatori speciali che rimandano corrente sulla linea, così in Centrale è impiantato un reostato a liquido a funzionamento automatico per il ricupero, o meglio per la dissipazione del soprappiù di energia restituita, che non viene utilizzata da un treno contemporaneamente in salita, o dalla Centrale per i servizi ausiliari, nonchè per mantenere in carica la linea e le sottostazioni e per la marcia a vuoto dei gruppi generatori; con ciò, indipendentemente da qualsiasi utilità di ricupero, si ha però sempre il vantaggio grandissimo di poter discendere coi freni aperti e velocità costante, con enorme vantaggio per la regolarità nella marcia dei treni in discesa difficilissima su quelle pendenze e con un enorme risparmio nel consumo dei ceppi, dei cerchioni e delle rotaie.

Il dispositivo è nuovo nel suo genere, e costituisce una particolarità dell'impianto. Il principio di funzionamento è il seguente:

L'acqua che serve all'alimentazione del reostato è quella di scarico dei condensatori, i quali, perciò, invece di versare direttamente nell'apposito cunicolo che riconduce al mare le acque di condensazione, scaricano in un cassone di lamiera metallica sopra-elevato sul piano del reostato, e dal quale l'acqua scende per gravità attraverso valvole automaticamente comandate, in tre canali di grès isolati, i quali con le tre vene liquide (a sezione variabile secondo l'energia d'assorbire) costituiscono il reostato.

Quando viene restituita energia alla linea, e quando questa restituzione (dopo aver provveduto a mantenere in carica la linea e le sottostazioni, e ai servizi accessori della Centrale) supera il valore di quella necessaria per trascinare il gruppo turbo-alternatore in movimento (funzionando l'alternatore da motore sincrono), allora, per un giuoco di interruttori automatici meccanici ed elettrici, viene inserito un motore il quale aziona direttamente un albero, che a mezzo di ingranaggi produce il sollevamento delle valvole attraverso le quali l'acqua defluisce nei tre canali. L'inserzione del motore ha luogo attraverso ad un interruttore che si chiude quando la turbina, non avendo più carico, non richiede più vapore. Le valvole continuano a sollevarsi e quindi la vena liquida ad aumentare la sua sezione, od in altre parole il reostato continua ad aumentare la sua capacità di assorbimento di energia fino a tanto che essa risulta superiore a quella restituita dalla linea. A questo punto il generatore deve concorrere a fornire energia al reostato; la turbina cioè deve richiedere vapore. A questo momento si inverte il verso di rotazione del motore che comanda le valvole di efflusso nel senso di richiuderle; la vena sèguita a diminuire sino a ridurre la capacità del reostato inferiore alla necessaria: allora la turbina tende ad essere trascinata dall'alternatore agente da motore e non richiede più vapore: avviene una nuova inversione del senso di rotazione del motorino che comanda le valvole d'efflusso, e l'acqua allora effluisce in maggior copia fino a divenire un'altra volta eccessiva. A questo punto le stesse fasi si ripetono.

In conclusione la vena liquida oscilla nella sua sezione intorno a quella corrispondente ad ogni istante all'energia restituita.

Il macchinario della Centrale è stato fornito dalle Ditte seguenti:

Convogliatori del carbone e caldaie, da Babcock & Wilcox di Londra.

Turbogeneratori e quadro di distribuzione, dalla British Westinghouse Elec. and Mfg. Co. di Manchester (Inghilterra).

Motrice di riserva, dalla Belliss and Morcom di Birmingham.

Condensatori e dinamo di riserva, dalla Società Anonima Westinghouse di Le Havre.

Il reostato a liquido è stato progettato e costruito dalla Società Italiana Westinghouse concessionaria dell'intero impianto della trazione elettrica ai Giovi (escluse le linee di trasmissione e di servizio che sono state costruite dalle Ferrovie dello Stato Italiano, e gli apparecchi di presa della corrente (*trolleys*) applicati sui locomotori, che furono forniti dalla Ditta Tecnomasio Brown-Boveri).

b) Linee primarie. — La corrente trifase a 13.000 volts viene condotta alle quattro sottostazioni di trasformazione statica, situate a Rivarolo, Pontedecimo, Montanesi (imbocco sud della galleria dei Giovi) e a Busalla, mediante due linee primarie che normalmente funzionano in parallelo, ma che sono state calcolate in modo da potere anche isolatamente trasportare tutta la energia occorrente alla trazione dei treni, e quindi da poter servire una di riserva all'altra in caso di guasti.

Le linee sono di filo di rame di 8 mm. di diametro e corrono interamente allo scoperto.

Le due linee primarie corrono sempre su palificazioni distinte in parte fuori della sede ferroviaria, in parte lungo i binari; in questo secondo caso gli stessi pali a traliccio sostengono anche, a mezzo di mensole protendentisi sui binari, le linee di servizio.

I sostegni fuori della sede ferroviaria sono tutti costituiti da pali a traliccio, mentre quelli lungo la linea sono in parte costituiti da pali Mannesmann tubolari.

I pali lungo i binari portano anche i fili per il collegamento telefonico fra la Centrale e le sottostazioni. Tutti i sostegni sono fra loro collegati direttamente e messi a terra con dispersori a punta, a mezzo di un filo di guardia. In corrispondenza delle sottostazioni e all'interno di esse è provveduto al sezionamento delle linee primarie mediante interruttori ad olio, e in modo che soltanto il tratto situato tra le due sottostazioni di una delle primarie in cui avviene un guasto debba essere messo fuori servizio, continuando per gli altri tronchi le due linee ad alimentare in parallelo.

I quadri della centrale e delle sottostazioni sono, a mezzo delle linee stesse, collegati fra loro con *relais* di sovraccarico e ad inversione di corrente, in modo che un guasto o un corto circuito su una terna la mette automaticamente fuori circuito, disinserendola tanto nelle sottostazioni, quanto in Centrale.

c) Sottostazioni. — In ciascuna delle sottostazioni sono collocati quattro

trasformatori monofasi da 750 KVA in olio con raffreddamento naturale, che abbassano la tensione da 13.000 volts a 3000 volts.

Un gruppo qualunque di tre trasformatori viene inserito a triangolo sulle condutture primarie e con facile manovra di interruttori può sostituirsi uno qualunque dei tre in servizio con il quarto che costituisce in quel momento la riserva.

Gli alimentatori a 3000 volts delle linee di servizio in una sottostazione intermedia sono nove, dovendo sopperire alla alimentazione dei due binari di corsa (destro e sinistro) tanto verso Genova quanto verso Busalla, ai quattro corrispondenti tratti tampone, e al fascio dei binari di stazione.

Gli interruttori relativi a questi alimentatori sono poi meccanicamente collegati in modo che, quando si disinserisce la stazione, vengono aperti contemporaneamente gli interruttori dei quattro tamponi, e quando si disinserisce uno degli alimentatori di un binario di corsa, anche il relativo tratto tampone viene disinserito. Analoghi collegamenti meccanici cautelano l'inserzione. Infine appositi interruttori servono a dare continuità alla secondaria, quando la sottostazione stessa venga esclusa dall'alimentazione.

I trasformatori sono stati costruiti dalla Società Italiana Westinghouse e l'apparecchiatura dei quadri dalla British Westinghouse Co.

d) Linee secondarie o di servizio. — Il tipo di sospensione scelto per le linee di servizio è stato il *trasversale,* che era stato esperimentato con esito soddisfacente nella galleria del Sempione.

Ogni fase aerea è costituita da due fili di 8 mm. di diametro, tesi parallelamente e accostati in rettifilo, un po' divaricati in curva, e montati a zig-zag. La continuità elettrica del binario non è ottenuta con i soliti giunti di rame, ma spalmando con una speciale pasta conduttrice i piani di steccatura delle rotaie e delle stecche, previamente tirate a pulimento con un getto di sabbia a pressione d'aria. Connessioni di rame si hanno soltanto saltuariamente tra rotaia e rotaia di uno stesso binario e fra i due binari, mentre le fasi aeree omonime delle due linee sono sempre indipendenti. Fra i pali a traliccio sostenenti le primarie e le secondarie sono stati intercalati dei leggeri pali tubolari Mannesmann, specialmente per diminuire le oscillazioni laterali delle linee.

Il montaggio delle linee è stato fatto dall'Amministrazione ferroviaria con materiali forniti specialmente dalla Ditta Brown-Boveri (Svizzera), analoghi a quelli impiegati al Sempione. Gli isolatori sono stati forniti dalla Ditta Richard Ginori.

e) Impianti accessori. — Per il servizio dei locomotori si dispone di una rimessa con fosse di visita a Pontedecimo, capace di otto macchine, e di una rimessa con fossa a Busalla; ma il vero deposito, ove possono eseguirsi anche riparazioni di una certa importanza, è sito al Campasso, ove si ha a disposizione un impianto di varie macchine utensili, un elevatore idraulico per montaggio e smontaggio dei motori, una gru a cavalletto da 16 tonn. per la manovra dei motori; e una gru a ponte da 3 tonn., un impianto di

cabestani per la manovra dei locomotori nella rimessa, una coppia di *treteaux* da 80 tonn. per il sollevamento completo dei locomotori, un impianto per le prove di tensione dell'apparecchiatura elettrica dei locomotori e un impianto per la prova dei freni e delle condutture pneumatiche. Annesso al Deposito è un magazzeno per contenere i pezzi di ricambio completi dell'apparecchiatura elettrica (motori, interruttori, reostati, controllers, trasformatori, compressori, ventilatori, ecc.) nonchè parti dei detti apparecchi, in modo da poter eseguire le riparazioni nel modo più celere e senza ritardare sul periodo normale di revisione stabilito dai turni di servizio dei locomotori.

f) Locomotori. — Il parco locomotori comprende 40 macchine grº 050 (di cui 15 destinate al servizio per il Moncenisio), costruite completamente (all'infuori della parte meccanica dei primi 15) dalla Società Italiana Westinghouse e da essa progettate per la parte elettrica, mentre il progetto completo per la parte meccanica fu redatto dal Servizio del Materiale delle Ferrovie dello Stato Italiano.

I locomotori sono a 5 assi tutti accoppiati con ruote di mm. 1070 di diametro, pesano in assetto di servizio tonn. 60 e, quantunque provvisti di spazi eventualmente destinati a contenere una zavorra fino a raggiungere un peso totale massimo di tonn. 75 (tonn. 15 per asse, massimo finora ammesso per la linea dei Giovi), non si è verificata la necessità di ricorrere a tale zavorra anche nelle condizioni peggiori di aderenza che su quella linea si hanno frequentissimamente.

Ciascun locomotore è provvisto di due motori asincroni trifasi ad alto potenziale a 8 poli, capaci di imprimergli la velocità di regime di Km. 45 e 22,5 all'ora circa, con la frequenza di 15 periodi, secondochè i motori si inseriscano in parallelo o in cascata. Normalmente i motori vengono inseriti in cascata nella prima fase dell'avviamento e in parallelo fra loro per la velocità di regime. L'accoppiamento in cascata è usato anche nella discesa da Busalla a Pontedecimo per i treni merci non muniti di freno continuo.

I motori comandano gli assi motori a mezzo di meccanismo a biella e manovella, essendo i motori montati sul telaio della macchina.

La manovra degli apparecchi di comando si fa da ciascuna estremità della cabina del guidatore. Alla condotta sono adibiti un macchinista e un aiutante macchinista, per disposizione di legge non per necessità di servizio.

Tutti i conduttori ad alta tensione, eccettuati quelli posti sul tetto del locomotore, sono contenuti entro un involucro metallico in diretta connessione col binario. Tutti gli apparecchi ad alta tensione che richiedono una revisione frequente, sono disposti entro casse metalliche chiuse con sportelli, i quali possono rimanere aperti finchè la chiave rimane nella rispettiva serratura. Questa chiave, che è unica per tutti quegli apparecchi, è collegata con la valvola di abbassamento dei due *trolleys* in modo da non poter essere estratta che a *trolleys* completamente abbassati, e questi non possono essere rialzati se non quando la chiave è stata ricollocata al suo posto, e quindi

chiusi gli apparecchi ad alta tensione, perchè la chiave non può estrarsi più dagli apparecchi aperti.

Ciascun locomotore è munito, oltre degli accessori ordinari (freno, lanciasabbia, fischi, strumenti indicatori, strumenti di protezione contro le scariche atmosferiche, le sovratensioni e le correnti dannose), di due gruppi motori-compressori, alimentati da due trasformatori in bagno d'olio riducenti la tensione da 3000 a 100 volts.

È inoltre provvisto di un reostato a liquido per gli avviamenti e per la regolazione del carico, e da un doppio *trolley* sistema Brown-Boveri tale da non richiedere manovre per il cambiamento del senso di marcia e per assicurare l'alimentazione continua e completa anche sotto agli scambi aerei.

Tutti gli apparecchi di manovra e di avviamento del locomotore sono azionati mediante aria compressa e con comando elettrico a *relais* a corrente alternata, derivati da appositi circuiti degli stessi trasformatori di cui sopra.

Questo sistema di comando s'informa al principio di sottrarre alla portata del macchinista qualunque parte ad alta tensione. All'aria compressa contenuta in un'unica rete di serbatoi e tubi a pressione praticamente costante, è riserbato il còmpito di produrre, con la sua diretta azione, esercitata in generale sopra stantuffi, il dovuto movimento dei diversi apparecchi di manovra e regolazione, mettendosi così a profitto la facilità con la quale è possibile con questo mezzo ottenere sforzi notevoli.

L'ammissione, lo scarico e l'eventuale regolazione dell'aria compressa nelle condutture nei singoli cilindri della manovra pneumatica, sono ottenuti mediante l'accennato comando elettrico, che ha luogo con *relays* inclusi in alcuni circuiti a basso potenziale collegati ai *controllers* manovrati dal guidatore e disposti alle due estremità della cabina.

Con questa disposizione si è raggiunto lo scopo di ridurre notevolmente la rete di condutture d'aria compressa occorrente ad un comando puramente pneumatico, ottenendosi inoltre una più rapida trasmissione dei comandi degli apparecchi e una automatica successione delle varie manovre, senza che il guidatore debba stare in eccessiva attenzione per percepire se una manovra pneumatica sia stata compiuta prima di effettuare con sicurezza la successiva.

Nei sistemi trifasi l'avviamento a corrente costante e la proprietà, che li distingue, di una velocità che praticamente può dirsi entro certi limiti invariabile al variare del carico, offrono per loro stessi la possibilità dell'impiego delle doppie trazioni senza apparecchi speciali che coordinino il funzionamento delle due macchine allo scopo fondamentale della ripartizione del carico in parti eguali fra queste.

Tuttavia l'apparecchiatura elettropneumatica di comando fu predisposta per garantire la esatta ripartizione dei carichi fra le due o più macchine, o anche una voluta ripartizione fra di esse, mediante collegamento a mezzo di un cavo, secondo il principio delle unità multiple così frequentemente impiegato per le automotrici.



Ai Giovi si adopera in salita la doppia trazione con un locomotore in testa e uno in coda senza cavo di collegamento, per cui i due locomotori si comandano indipendentemente l'uno dall'altro. Nelle discese invece i due locomotori, entrambi in testa al treno, potrebbero facilmente essere collegati con cavo.

§ 3. — Risultati di esercizio.

La composizione massima ammessa sulla linea in questione, limitata dalla resistenza degli organi di attacco del materiale rotabile italiano, è di tonnellate 200 in semplice trazione se il materiale è munito di freno continuo automatico, di 180 negli altri casi. Ma vi è ammessa la trazione multipla, purchè la locomotiva di testa non si addossi un carico superiore a quelli sopraindicati.

Le più potenti locomotive a vapore, che dal 1909 prestavano servizio sulla vecchia linea dei Giovi, sono quelle a 5 assi accoppiati del gr° 470 pesanti, insieme col tender, tonn. 101 circa (di cui 75 per la locomotiva e 26 per il tender).

La prestazione di una locomotiva di tale gruppo sulla vecchia linea dei Giovi è di tonn. 130 a 35 Km. all'ora, di tonn. 150 a 30 Km. all'ora, di tonn. 170 a 25 Km. all'ora, velocità segnata in orario per tutti i treni su quella tratta. In relazione alle vigenti norme di esercizio i pesi e le composizioni dei treni a vapore risultano come segue:

Trazione semplice — Treno tonn. 170, loc. tonn. 101; totale tonnellate 271.
Doppia trazione (una in testa e una in coda) — Treno tonn. 310, loc. 202; totale tonn. 512.
Tripla trazione (una in testa e due in coda) — Treno tonn. 450, loc. tonn. 303; totale tonn. 753.

Con la trazione elettrica sono state ammesse le composizioni seguenti:

Trazione semplice — Treno tonn. 190, locomotore tonn. 60; totale tonn. 250.
Doppia trazione — Treno tonn. 380, locomotori tonn. 120; totale tonn. 500.
Tripla trazione — Treno tonn. 530, locomotori tonn. 180; totale tonn. 710.

I treni elettrici hanno dunque rispettivamente una maggior composizione utile di 20, 70 e 80 tonn., quantunque pesino in meno rispettivamente 21, 12, 43 tonnellate.

Sotto forma percentuale si ha che con la trazione a vapore il mezzo di locomozione rappresenta nei tre casi di semplice, doppia e tripla trazione rispettivamente il 59,5 %, il 65,1 % e il 67,3 % del peso utile, mentre nella trazione elettrica rappresenta rispettivamente il 31,6 %, il 31,6 % e il 33,9 %.

Rispetto al peso totale del treno, il mezzo di locomozione vi entra nella trazione a vapore rispettivamente per il 37,2 %, il 39,4 % e il 40,2 %, mentre nella trazione elettrica vi entra rispettivamente per il 24 %, il 24 % e il 25,3 %.

Quindi nella trazione a vapore la percentuale rispetto al peso utile del peso morto del mezzo di locomozione è rispettivamente 1,88, 2,06, 2,00 volte quella della trazione elettrica; e rispetto al peso totale 1,55, 1,64, 1,59.

I primi locomotori furono pronti prima che fosse compiuta la elettrificazione della linea dei Giovi e perciò per le prime prove furono inviati in Valtellina; è stato però ai Giovi, nel periodo di prova fra il 1° giugno e il 31 ottobre 1910, che poterono farsi le prove pratiche più importanti.

Si sono cioè effettuati treni in doppia trazione a 45 Km. con una composizione fino a 440 tonn. utili, con tutta sicurezza e regolarità, senza alcun accenno a slittamenti. La composizione dei treni di prova non fu accresciuta perchè già si erano oltrepassate le limitazioni vigenti, dovute agli organi di attacco, come già si è detto. Si sono eseguite prove di avviamento sul 35 ‰ e in curva di 400 metri di raggio, presentanti una notevolissima difficoltà, dovuta appunto al perfetto necessario accordo fra locomotori di testa e locomotore di coda (In queste prove un locomotore ha sviluppato fino a 3000 cavalli).

L'accelerazione è stata di circa 7 cm. al 1″ per 1″.

Si è constatata la perfetta ripartizione del carico fra i due locomotori di testa e di coda. Si son fatte prove di triplice trazione a 22,5 Km. all'ora con treni oltre 550 tonn. Un giorno, causa un guasto a un trolley in piena corsa, si dovette abbassare il trolley alla locomotiva di prima spinta in coda, onde l'intero treno, più tonn. 60 di macchina inattiva, continuò la sua corsa regolare, trainato da due soli locomotori! Si sono eseguite prove in tripla azione a 45 Km. all'ora, ma non si è ritenuto prudente finora (per ragione di sicurezza) impostare treni in orario con tale composizione.

Si sono quindi eseguite prove di ricupero in discesa a 22 ½ Km. con treni di 650 tonn. e tre locomotori attivi in testa; e a 45 Km. con treni di composizione normale (380 tonn.) e con due locomotori in testa.

Dai diagrammi rilevati mediante apparecchi registratori impiantati tanto sui locomotori quanto alla Centrale, risulta che la potenza media richiesta da un treno in salita di 390 tonn. nette (tonn. 510 coi locomotori) è di Kw. 2200 ai locomotori e 2340 in Centrale, con una punta massima al locomotore di 2700 Kw.

Da tali cifre si deduce che il consumo per tonn-Km. di treno, locomotore compreso, è di 93 Watt-ore e di 100 Watt-ore in Centrale, netti. In altre esperienze e per un treno normale di tonn. 380 nette, il consumo si ridusse anche a 90,33 Watt-ore per tonn-Km. reale. Per tonn-Km. virtuale (essendo

Km. 65 la lunghezza virtuale della linea agli effetti del consumo di combustibile) il consumo risulta di 14,5 Watt-ore. Tali cifre si elevano a Watt 119 e 18,8 rispettivamente per tonn-Km. di treno utile.

Come media di tutta una giornata di servizio, comprendendo cioè nei consumi anche quelli occorrenti alla marcia a vuoto della Centrale e delle sottostazioni di trasformazione, si avrebbe un consumo medio per treno di 590 Kw-ore in Centrale, dal che si vede anche come la Centrale sia ancora ben lungi dall'essere convenientemente sfruttata. L'energia perduta nel reostato di avviamento dei due locomotori per un avviamento fino alla velocità di 45 Km. all'ora, costituisce circa il 29 $^0/_0$ dell'energia richiesta per l'avviamento stesso e il 2,37 $^0/_0$ di quella complessiva per tutto il percorso fra Pontedecimo e Busalla.

Facciamo rilevare questa lieve percentuale che si raggiunge nei casi pratici per dimostrare quanto poco valore abbia nella grande trazione ferroviaria l'appunto che si muove al trifase per le sue perdite reostatiche agli avviamenti. Dal confronto e dall'esame di vari diagrammi rilevati in Centrale si è notato che un treno in discesa ricuperante, non solo concorre a fornire con continuità energia al treno in salita per effetto della gravità che lo sospinge, ma funge anche con la sua enorme massa da volano, cedendo una parte della sua forza viva, allorchè, per l'aumentato carico della linea, entra in gioco la diminuzione di velocità dell'alternatore. E si è verificato ancora che all'atto dell'avviamento di un treno, mentre l'altro in precedenza si trovava in piena velocità, la punta in Centrale non è così forte come deriverebbe dalla somma delle due richieste considerate a parte, ma il maggior richiamo di corrente dalla Centrale, che vi produce un leggero abbassamento nel numero dei giri della turbina e quindi nella frequenza, è combattuto dallo svolgimento di forza viva dal treno in salita, che in quell'istante si trovava a marciare per l'effetto della forza viva acquistata ad una velocità superiore a quella corrispondente alla diminuita periodicità.

È questo un vantaggio del trifase che, almeno a quanto ci consta, non era stato finora segnalato.

L'accordo perfetto fra il macchinista del locomotore di testa e quello del locomotore di coda è raggiunto nel modo più semplice e più perfetto con l'esame dell'amperometro. Le sue indicazioni bastano a regolare le inserzioni e le disinserzioni tanto all'atto dell'avviamento quanto a quello dell'arresto e durante i cambiamenti di velocità. Per queste operazioni si sono date norme tassative che non è qui il caso di riportare, ma che garantiscono la più perfetta regolarità di marcia. Circa la diversità dei diametri delle ruote nella trazione ad unità indipendenti, e al conseguente squilibrio nei carichi assunti dai due locomotori, si può dire con l'esperienza che questo squilibrio cade entro i limiti ammissibili in pratica. Finora la diversità iniziale dei diametri non ha portato nessun squilibrio nella ripartizione dei carichi, tale da dover richiedere speciale dispositivo per correggerlo. Questa constatazione è di grandissimo valore pratico per l'esercizio.

Sul comportamento dei locomotori in discesa con ricupero, diremo che la marcia ha luogo con andamento dolcissimo e regolarissimo tanto a piccola quanto a grande velocità, specialmente se un treno trovisi contemporaneamente in salita. A questa regolarità di marcia concorrerà l'accoppiamento in unità multiple che affida all'unico macchinista di testa tanto la condotta elettrica quanto la manovra dei freni, onde il comando ad unità multiple, anche se non utilizzato in ascesa, si presenta di indiscutibile vantaggio per la marcia in discesa, assai più difficile per sè stessa a regolarsi, e quindi resta, non fosse che per questo, pienamente giustificata l'adozione del comando elettro-pneumatico, anche se importa qualche maggior complicazione sul comando puramente pneumatico.

Dai diagrammi rilevati direttamente sui locomotori si trova che per treni discendenti a gran velocità si ricupera rispettivamente il 62 $^0/_0$, il 57 $^0/_0$ e il 50 $^0/_0$ sulle discese, del 35 $^{00}/_{00}$, del 29 $^{00}/_{00}$ e del 21 $^{00}/_{00}$, mentre per la discesa a piccola velocità i ricuperi sono rispettivamente del 55 $^0/_0$, 52 $^0/_0$ e 48 $^0/_0$.

Per una corsa completa in discesa a grande velocità, il ricupero totale è di circa il 40 $^0/_0$ dell'energia richiesta da un treno in salita. Il risparmio di combustibile in Centrale, dopo l'adozione del ricupero, è ammontato al 16 $^0/_0$ circa, valore che si approssima a meno di pochi per cento al coefficiente teorico realizzabile con l'esercizio attuale.

Sulla utilizzazione dell'energia restituita dai treni in discesa dobbiamo fare le seguenti osservazioni:

Se contemporaneamente un treno trovasi in salita, tutta la energia restituita dal treno in discesa viene integralmente utilizzata dal treno in salita, cioè la Centrale non è chiamata che a fornire l'energia-differenza delle due e la perdita sulle linee corrispondente alla differenza dei due carichi.

Se la sovrapposizione del treno in salita col treno in discesa non ha luogo che parzialmente o non ha luogo affatto, allora devesi por mente che, prima che intervenga l'azione distruggitrice dell'energia restituita per parte del reostato della Centrale, questa energia viene utilmente impiegata a sopperire le perdite sulle linee e per la marcia a vuoto delle sottostazioni (Kw. 190 circa), per il funzionamento dei condensatori del gruppo tubo-alternatore in servizio (Kw. 180 circa) e per mantenere in moto a vuoto, o come motore sincrono, il gruppo stesso (Kw. 360 circa).

Sono adunque 730 Kw. almeno che vengono risparmiati sempre in ogni caso. Ora 730 Kw. rappresentano l'energia istantanea massima di un treno in discesa a piccola velocità, di composizione sempre superiore a quella che in generale ha luogo nel servizio pratico attuale, onde la Centrale marcia veramente a vuoto, senza alcun consumo di carbone.

Un treno viaggiatori, essendo per ora solo ad essi esteso il ricupero in discesa a grande velocità, di composizione massima e con 4 locomotori di cui 2 soli attivi in testa, perchè i soli muniti di freno continuo, restituisce al massimo Kw. 1500, onde soltanto nel caso peggiore, che quasi mai si verifica

in pratica, andrebbero distrutti nel reostato Kw. 770. Questo come massimo; ma in realtà ciò si verifica solo nei tratti di maggior pendenza e per durata di pochi minuti, perchè, per il restante della corsa, la restituzione media è inferiore a quella richiesta dalla Centrale per marciare a vuoto; ma la miglior conservazione dei ceppi del freno, dei cerchioni e delle rotaie è tale da compensare ad usura questa piccola mancanza saltuaria di utilizzazione della energia restituita.

Dobbiamo infine osservare che in questa pratica e grandiosa applicazione del sistema trifase, la costanza di velocità nei motori, anzichè un difetto per l'esercizio ferroviario, si è confermata invece come un pregio, perchè la velocità non risente l'influenza dei sovraccarichi e delle circostanze sfavorevoli o delle difficoltà della linea nei punti critici, che sulla linea dei Giovi si verifica spesso e in modo eminente.

Anzi per i treni impostati in orario alla piccola velocità, il dirigente del Movimento può dar ordine che il treno per un certo tratto marci invece a grande velocità, e può fare preciso assegnamento sul tempo che sarà effettivamente ricuperato, per migliorare la marcia del treno stesso, se in ritardo, o quella dei treni coincidenti, il che ha una importanza enorme per la regolarità del servizio.

Concludendo, possiamo affermare con piena sicurezza e con cognizione di causa che i due grandi problemi della trazione elettrica ferroviaria, con unità pesanti di treni (doppia trazione a unità indipendenti e ricupero dell'energia), sono stati completamente risolti con il sistema trifase impiantato ai Giovi, e dichiarare con convinzione che nessun altro sistema si sarebbe prestato ad una così completa ed economica risoluzione del problema.

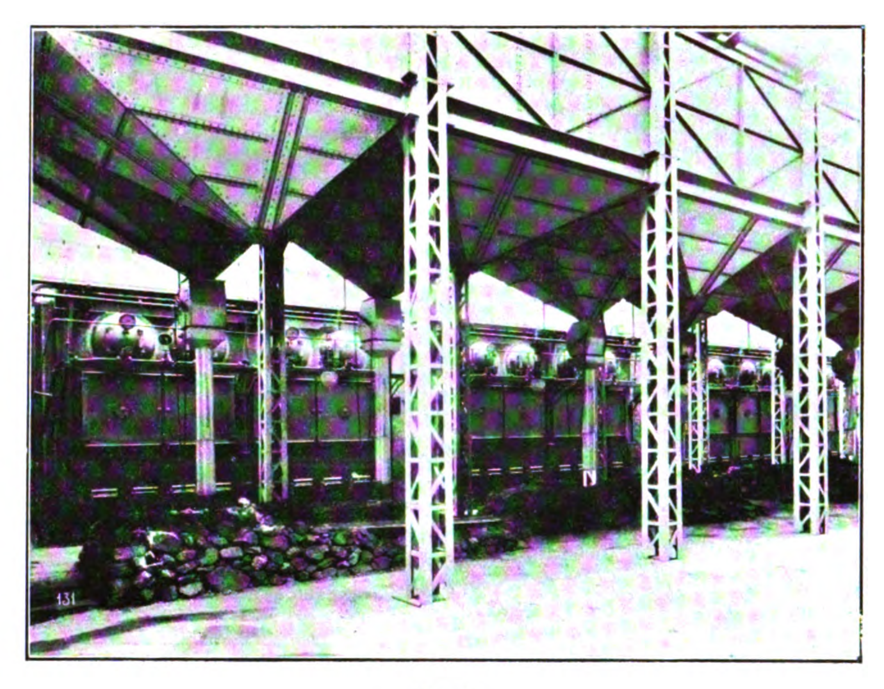


Fig. 1.

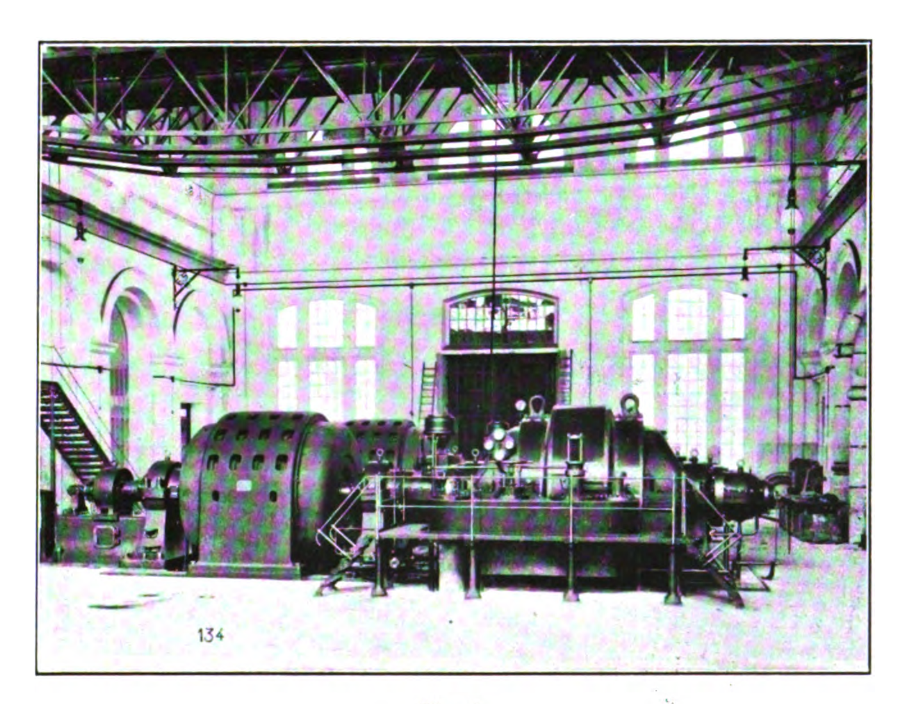


Fig. 2.

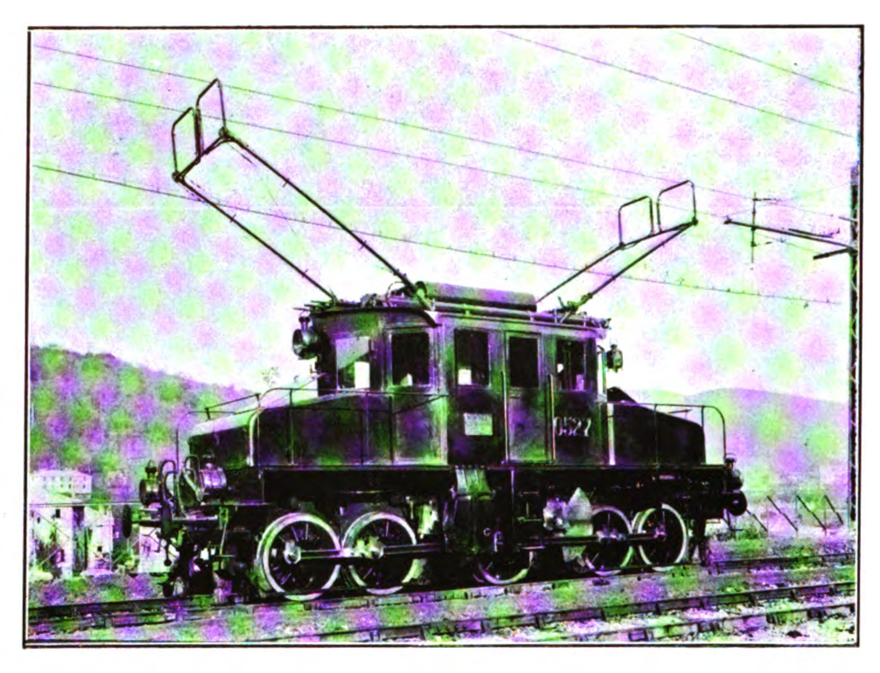


Fig. 3.



Fig. 4.

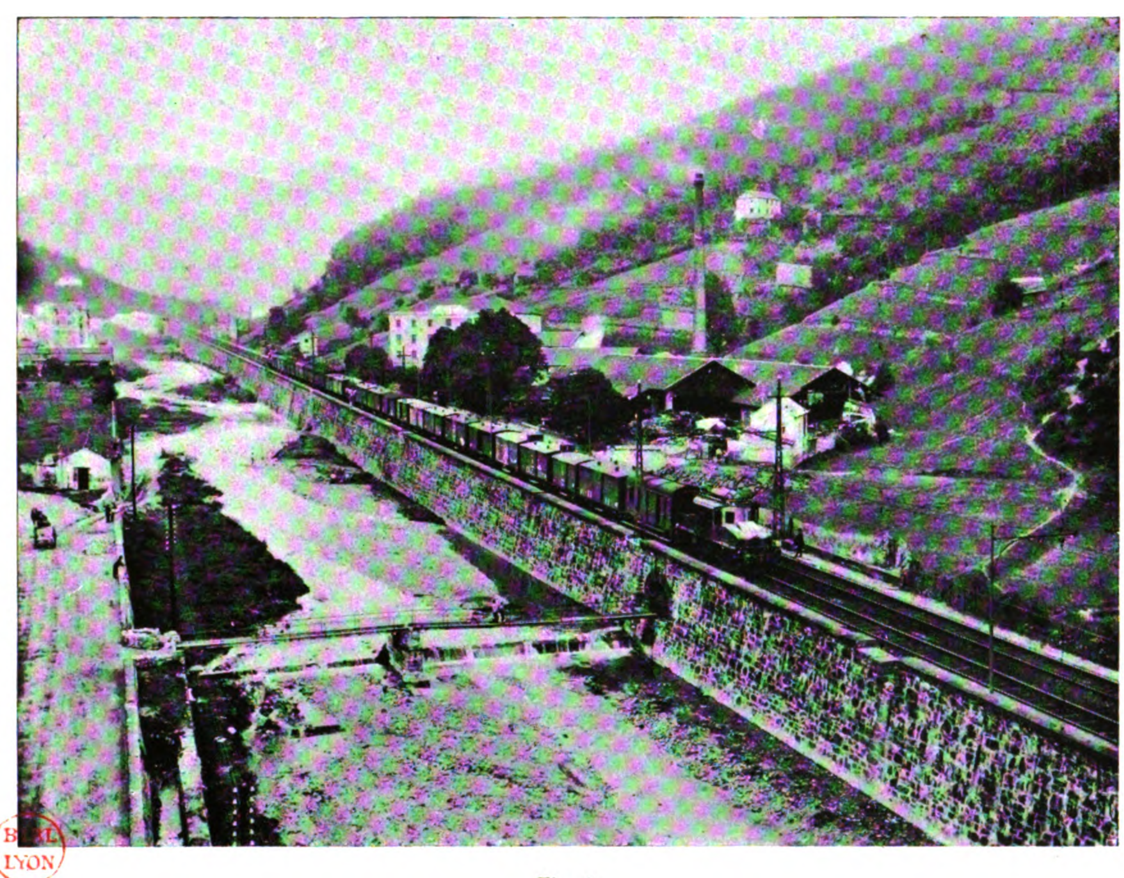


Fig. 5.

RÉSUMÉ

Le rapporteur rappelle d'abord les discussions et les conclusions du Congrès international des chemins de fer qui eut lieu à Berne l'année dernière à l'égard du choix de la forme du courant à employer pour l'électrification des chemins de fer à fort trafic et de la question de l'unification du système à adopter.

Il donne un aperçu des résultats des études des Commissions nommées par les différentes nations pour élucider les questions de la traction électrique et des tendances qui se sont manifestées à la suite de ces études chez les dites nations.

Il parle ensuite très rapidement des installations de traction en exploitation, en cours de construction et à l'étude; il reprend ensuite l'examen des propriétés et des caractéristiques de deux systèmes, tant du côté technique que du côté économique, suivant les sanctions de la pratique, pour arriver à délimiter le champ d'application du monophasé et du triphasé.

Il manifeste enfin sa sympathie pour le triphasé, partant de la conviction que les électrifications qui se feront dans un prochain avenir se borneront aux lignes dont la capacité de trafic serait insuffisante avec la traction à vapeur en raison des pentes et des longs tunnels; pour ces cas, le triphasé est le plus convenable.

En annexe, il donne une description détaillée de l'installation triphasée des Giovi, sur les lignes Gênes-Milan et Gênes-Turin en Italie.

Discussion voir page 168.

Ueber die Ausbildung der Triebfahrzeuge für elektrischen Vollbahn-Betrieb mit Einphasenwechselstrom.

Dr. W. Kummer (Zürich).

Unter den verschiedenen elektrischen Systemen, die heute für den Vollbahnbetrieb noch in Frage kommen können, hat zweifelsohne das System des Einphasenwechselstroms mit hoher Fahrdrahtspannung und niedriger Periodenzahl seitens der Mehrzahl der Bahnverwaltungen und der Konstruktionsfirmen, die sich ernsthaft mit der elektrischen Traktion auf Vollbahnen beschäftigen, die grösste Würdigung gefunden. Es konnte dieses System, dank dem bedeutenden Aufschwung, der seit 1902 in der Ausbildung der Wechselstrom-Kommutatormotoren zu verzeichnen ist, denn auch in kurzer Zeit zu grösserer Verbreitung gelangen. Seine Anwendungsmöglichkeit im Sinne der heutigen Praxis verdankt es ausschliesslich dem Emporkommen der Wechselstrom-Kommutatormotoren.

Drei Klassen von Wechselstrom-Kommutatormotoren kommen, nach dem heutigen Stande der Technik, für die Ausbildung von Einphasen-Triebfahrzeugen in Betracht: Die eigentlichen Wechselstrom-Seriemotoren, die eigentlichen Repulsionsmotoren und die Repulsionsmotoren mit Ankererregung. Wenn auch das Betriebsverhalten dieser Motorarten im allgemeinen als bekannt vorausgesetzt werden darf, so möge dennoch kurz auf einige gemeinsame Eigenschaften derselben hingewiesen werden. Für den Bahntechniker ist es insbesondere die sog. mechanische Charakteristik, d. h. der Zugkraft-Geschwindigkeitszusammenhang der Bahnmotoren, der als höchst bedeutungsvoll gelten muss.

Um im Wettbewerb mit dem Dampf-Triebfahrzeug nicht minderwertig zu erscheinen, müssen an die mechanische Charakteristik der Motoren der elektrischen Triebfahrzeuge die folgenden Anforderungen gestellt werden:

1. Möglichkeit der Einhaltung einer praktisch konstanten Geschwindigkeit für einen grossen Bereich der Zugkräfte zum Zwecke der Einhaltung eines bestimmten Fahrplans bei verschiedenen Zugsgewichten.

2. Möglichkeit der Entwicklung höherer Zugkräfte bei niedrigeren Geschwindigkeiten und niedrigerer Zugkräfte bei höheren Geschwindigkeiten, zum Zwecke der Energieökonomie in besondern Umständen, wie beim Anfahren und bei Bergwärtsbefahren von Steigungen bei einem ungleichmässigen Längenprofil.

Die Tatsache, dass für die ältere elektrische Traktion, die ausschliesslich mittels Gleichstrom erfolgte, in der Motortype des Gleichstrom-Seriemotors die genannten Forderungen ohne weiteres verwirklicht werden konnten, sicherte der elektrischen Traktion überhaupt den hohen Grad der Wertschätzung, den sie zur Zeit des Aufkommens der Wechselstromtraktion für Trambahnen, Stadtbahnen u. s. w. bereits besass. Gegenüber dem Gleichstrom-Seriemotor ergibt sich aber für die erwähnten drei Klassen von Wechselstrom-Kommutatormotoren der höchst wertvolle Vorteil, dass die Regulierungsanlagen, mittels deren anstelle einer einzelnen Charakteristik, wie sie beispielsweise für eine bestimmte Spannung ein Seriemotor aufweist, beliebig viele Charakteristiken erhältlich sind, einfach und im Energieverbrauch sehr sparsam ausfallen. Für den eigentlichen Wechselstrom-Seriemotor und für den Repulsionsmotor mit Ankererregung beruhen die Regulierungsanlagen auf der Verwendung von Transformatoren mit veränderlichem Uebersetzungsverhältnis, für den eigentlichen Repulsionsmotor insbesondere auf dem Prinzip der Verstellung der Bürsten. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass die erwähnten drei Klassen von Wechselstrom-Kommutatormotoren auch als elektrische Bremsorgane für Dauerbremsungen dienen können, indem sie ohne weiteres zur generatorischen Erzeugung von Wechselstrom mit gleicher Frequenz verwendbar sind, vie sie der in der Fahrdrahtleitung den Fahrzeugen zugeführte Wechselstrom aufweist. Auf Grund theoretischer Ueberlegungen ist daher für alle drei Motorarten zu erwarten, dass diese generatorische Wirkung zur sog. Nutzbremsung, d. h. zur Stromrückgewinnung verwendet werden könne, eine Erkenntnis, die wir

einem von Prof. J. K. Sumec im Februar 1905 vor dem " Elektrotechnischen Verein, Wien „ gehaltenen Vortrage verdanken. Den Bemühungen der Konstrukteure ist es nun nicht gelungen, die Stromrückgewinnung der Einphasen Bahnmotoren ohne weiteres durchzuführen, indem sich gewisse Selbsterregungs-Phänomene hindernd erweisen. Durch Anwendung gewisser Hilfsmittel gelingt es jedoch, diese Schwierigkeiten zu überwinden; mittels solcher Hilfsmittel werden in kurzem auf der Versuchsstrecke *Perpignan-Villefranche* der französischen " Chemins de fer du Midi „ Stromrückgewinnungsversuche in grossem praktischen Masstabe mit allen drei Motorarten vorgenommen werden. Ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel kann man dagegen die generatorische Wirkung der Einphasen-Bahnmotoren in der sog. Gegenstrombremsung praktisch verwerten, wobei der elektrische Effekt des als Generator arbeitenden Motors zugleich und in Serie mit einem dem speisenden Netze zu entnemenden elektrischen Effekt in Belastungwiderständen in Wärme umgewandelt wird. Diese Bremsmethode findet praktische Verwendung auf der mittels des eigentlichen Wechselstrom-Seriemotors betriebenen Lokomotive der Valle Maggia-Bahn.

Der Ausbildung leistungsfähiger Wechselstrom-Kommutatormotoren setzte anfänglich die Schwierigkeit der Kommutierung eine verhältnismässig tief liegende Grenze. Heute können diese Schwierigkeiten für alle drei Motorarten als überwunden betrachtet werden; die von der Mehrzahl der Konstrukteure befürwortete Herabsetzung der Frequenz auf 15 Perioden pro Sekunde dürfte für die Herabminderung der Schwierigkeiten einer tadellosen Kommutierung das Meiste beigetragen haben. Eine Reihe von Erfindern und Konstrukteuren haben sich mit der Ausbildung der Einphasen-Bahnmotoren bleibende Verdienste erworben, so B. G. Lamme, L. Finzi, H. Behn-Eschenburg und R. Richter für den eigentlichen Seriemotor, E. Thomson, M. Déri, Th. Lehmann und K. Schnetzler für den eigentlichen Repulsionsmotor und M. Latour, G. Winter und Fr. Eichberg für den Repulsionsmotor mit Ankererregung. Für das theoretische Verständnis dieser Motoren hat der Dresdener Professor H. Görges die grundlegenden Arbeiten geliefert.

Für den Einbau der Einphasen-Bahnmotoren in die Triebfahrzeuge — Motorwagen und Lokomotiven — ist nun der Zusammenhang, der zwischen der Leistungsfähigkeit der Motoren und dem von ihnen beanspruchten Raume besteht, von ganz

hervorragender Bedeutung. Auf Grund der durch Erwärmungsrücksichten festgelegten magnetischen und elektrischen Beanspruchung des sog. aktiven Materials — Eisenblech und Kupferdraht der Wicklungen — kommt man durch theoretische Betrachtung auf einen proportionalen Zusammenhang der Raumansprüche des aktiven Materials und des vom Motor entwickelten normalen Drehmomentes. Auf Grund der Kommutierungsrücksichten würde man einen Zusammenhang zwischen der Oberfläche des aktiven Materials und des vom Motor aufgenommenen elektrischen Effekts erhalten. Da die Beherrschung der Kommutierungsverhältnisse jedoch vom zufälligen Stand der Technik, die Beherrschung der Erwärmungsverhältnisse dagegen vielmehr von festliegenden physikalischen Konstanten abhängt, so ist der Zusammenhang zwischen dem aktiven Motorvolumen und dem Motordrehmoment als der in letzter Linie massgebende anzusehen. Das aktive Motorvolumen wird gebildet durch einen Zylinder, dessen Durchmesser mit dem Durchmesser des rotierenden Motorteils übereinstimmt und dessen Höhe der axialen Breite des aktiven Eisenbleches entspricht. Durch die Erfahrung sind nun festgelegt einerseits der Betrag an aktivem Motorvolumen, das auf die Einheit des normalen Drehmoments entfällt, und anderseits der Betrag an aktiver Eisenbreite, der für verschiedene Spurweiten und verschiedene Triebwerksanordnungen bei elektrischen Bahnen möglich ist, wenn die Motoren, wie das in der heutigen guten Praxis ausschliesslich vorkommt, mit parallel zu den Fahrzeugsachsen gelagerten Motorwellen eingebaut werden. Damit besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des rotierenden Motorteiles und dem normalen Drehmoment, der beispielsweise für Vollbahnen mit normaler Spurweite — 1435 mm. — nur noch durch die Triebwerksanordnung beeinflusst wird. Hinsichtlich der Triebwerksanordnung ist nur noch zu unterscheiden, ob allfällige Zahngetriebe zwischen Motorwelle und Fahrzeugsachse vorkommen oder nicht, da im ersten Falle eine kleinere aktive Eisenbreite möglich ist als im zweiten Falle. Bezeichnet man den in cm. gemessenen Durchmesser des rotierenden Motorteils mit D_a, das in mkg. gemessene normale Motordrehmoment mit D, so kann man als brauchbare Mittelwerte für die heutige Technik der Einphasen-Bahnmotoren setzen:

$$D_a = 2{,}42 \cdot \sqrt{D}$$ für Motoren ohne Zahnräder;

$$D_a = 3{,}30 \cdot \sqrt{D}$$ für Motoren mit Zahnrädern.

Durch konstruktive Verhältnisse ist im weitern bedingt ein Grenzwert für die zulässige Umfangsgeschwindigkeit des rotierenden Motorteils. Ferner sind für die Kraftübertragung vom Motor bis zu den Triebrädern massgebend die Uebersetzung *ü* allfälliger Zahnradgetriebe, sowie das Verhältnis $\frac{D_a}{D_r}$, wenn mit D_r der Durchmesser der Triebräder bezeichnet wird. Für den Fall, dass nun die Anzahl der Triebachsen übereinstimmt mit der Anzahl auf dem Fahrzeug vorhandener Triebmotoren, kommt man dann zu sehr einfachen Beziehungen zwischen den am Radumfang eines Triebfahrzeugs geforderten Werten der Zugkraft Z in kg. pro Triebachse und der Geschwindigkeit *v* in Kilometer pro Stunde mit dem Motordrehmoment D und den Verhältniswerten *ü* (Motordrehzahl durch Triebraddrehzahl) und $\frac{D_a}{D_r}$. Für die Motoren ohne Zahnräder ist ohne weiteres $ü = 1$; für die Motoren mit Zahnrädern kann man für $\frac{D_a}{D_r}$ einen konstanten Mittelwert benutzen von etwa 0,5. Dann gelten für praktische Verhältnisse und gleiche Zahl Motoren und Triebachsen im Mittel die ausserordentlich einfachen Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} Z &= 82{,}4 \cdot \frac{Da}{Dr} \cdot \sqrt{D} \\ v &= 67{,}9 \cdot \frac{1}{\frac{Da}{Dr}} \end{aligned}\right\} \text{für Motoren ohne Zahnräder}$$

$$\left.\begin{aligned} Z &= 30{,}3 \cdot ü \cdot \sqrt{D} \\ v &= 135{,}8 \cdot \frac{1}{ü} \end{aligned}\right\} \text{für Motoren mit Zahnrädern.}$$

Bei ungleicher Zahl von Motoren und Triebachsen wird es sich um die Verteilung des Drehmoments eines Motors auf mehr als eine Triebachse handeln, und sind die Ausdrücke für Z entsprechend verändert (Weitere Einzelheiten über den behandelten Zusammenhang von Z und *v* mit D sind dem Aufsatze des Referenten " Ueber Bemessung der Umdrehungszahl bei elektrischen Bahnmotoren „ in Bd. 53 Nr. 24 der " Schweizerischen Bauzeitung „ von 1909 zu entnehmen).

Mit Rücksicht auf die Einhaltung einer genügenden Adhäsion der Triebräder auf den Schienen der Bahnanlage ist nun der

Triebachsenzugkraft eine obere Grenze gesetzt, die sich nach dem zugelassenen Achsdruck richtet. Für Lokomotiven ist der zugelassene Achsdruck lediglich eingeschränkt durch die Verhältnisse des Bahn-Unterbaues und der Geleise, während bei Personen-Motorwagen eine weitere Einschränkung durch die Forderung eines möglichst ruhigen Ganges des Fahrzeuges tritt. Gemäss dem mitgeteilten Zusammenhang zwischen Z und D müssen nun, soweit nicht durch die besondere Wahl der Verhältnisse $\ddot{u}$ und $\frac{Da}{Dr}$ eingegriffen wird, offenbar zur Erreichung grösserer Werte Z auch grössere Motordrehmomente D angewendet werden. Zur Ausbildung von Motoren mit grossem D sind, nach dem mitgeteilten Zusammenhang zwischen D und D_a offenbar die Motoren ohne Zahnräder ohne weiteres besonders geeignet; diese Motoren empfehlen sich wegen des Wegfalls von Zahnrädern weiter auch für grosse Geschwindigkeiten v. Anderseits können für die Erreichung kleiner Werte von Z ohne weiteres die billigeren Motoren mit kleinem D Verwendung finden, die man dann als Zahnradmotoren ausbilden wird. Damit ergibt sich nun ganz zwanglos eine Ausscheidung verschiedener Anordnungen der Motoren und Triebwerke für verschiedene Arten von Triebfahrzeugen, die sich nach der Grössenordnung der zugelassenen Triebachsenzugkräfte unterscheiden.

Für die konstruktive Anordnung des Einbaues von Motoren mit und ohne Zahnräder stehen eine Reihe von Bauarten zur Verfügung, die im allgemeinen durchaus nicht etwa charakteristische Merkmale der Einphasentraktion bilden, sondern schon vor deren Anwendung bekannt waren, wenn auch, wegen der Schwierigkeiten der Zufuhr grosser Energiemengen durch die Fahrdrahtanlagen, bei anderen elektrischen Systemen Antriebsanordnungen für grosse und leistungsfähige Schnellzugslokomotiven kaum vorhanden waren.

Der Antrieb von Personen-Motorwagen, bei denen es sich, wie wir gesehen haben, nur um verhältnismässig kleine Triebachsenzugkräfte handeln kann, erfolgt bei Verwendung von Zahnradmotoren durch eine Antriebsanordnung, für deren Ausbildung *F. J. Sprague* das Meiste beigetragen hat; bei dieser Anordnung bildet die Triebachse eine Vorgelegewelle zum Motor, an dessen einer Gehäuseseite Lager zu seiner Abstützung auf die Triebachse angebracht sind, während die gegenüberliegende Gehäuseseite des Motors im Untergestell federnd aufgehängt ist.

Für den Antrieb von Lokomotiven, bei denen es sich in Vollbahnbetrieb stets um verhältnismässig grosse Triebachsenzugkräfte handeln dürfte, wird man zu unterscheiden haben, ob sie für grössere oder nur für kleinere Geschwindigkeiten bestimmt sind. Im ersten Falle wird man Zahnradmotoren in der Regel vermeiden und ausserdem für die Erhöhung der Lauffähigkeit neben den Triebachsen auch sog. Laufachsen anwenden, die kleineren Raddurchmesser und kleinere Raddrücke aufweisen, als die Triebachsen, vor und hinter denen man sie anzuordnen pflegt. Als Antriebsanordnung für Motoren ohne Zahnräder hat man eine Zeit lang eine Bauart mit unmittelbarem Aufbau der Motoren auf die Triebachsen verwendet, wobei nach dem Beispiel von *S. H. Short* eine die Triebachse umgebende und sie mittels elastischer Zwischenglieder antreibende hohle Motorwelle zu Hilfe nahm. Für die Einphasentraktion hat diese, heute kaum noch bedeutungsvolle Anordnung nur in Amerika Anwendung gefunden (1). Anstelle dieser Bauart kommt heute für neue Lokomotiven ausschliesslich die Anordnung von im Gestell des Fahrzeugs festgelagerten und mittels Triebstangen und Kurbeln auf die Triebachsen einwirkenden Motoren vor, d. h. eine Anordnung, als deren Urheber für die elektrische Traktion *S. D. Field* und *Eickemeyer* anzusehen sind. Diese Bauart kann mit oder ohne Zahnradübertragung vorkommen; im ersteren Falle wird das Kurbelgetriebe lediglich zwischen der dem Motor vorgelegten Zahnradwelle und den Triebachsen angeordnet sein. Ganz allgemein ist daher die heutige Antriebsanordnung für Lokomotiven gekennzeichnet durch den festen Einbau der Triebmotoren in die Gestelle der Fahrzeuge und durch die Anwendung von Triebstangen, die direkt von der Motorwelle aus, oder von einer mit derselben durch Zahngetriebe oder Kurbelgetriebe fest verbundenen Zwischenwelle aus, auf die Triebachsen einwirken. Je nach den besonderen Anforderungen, die an die Lokomotiven gestellt werden, stehen daher dem Konstrukteur Anordnungen zur Verfügung, aus denen er die ihm passende entnehmen kann.

Zur Vergleichung der Leistungsfähigkeit von Triebfahrzeugen,

---

(1) Neuerdings wird bekannt dass auch die französischen " Chemins de fer du Midi " eine ähnliche Anordnung in der Lokomotive der " Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est à Jeumont " erhalten.



insbesondere von Lokomotiven, lässt sich mit Vorteil eine auf das Fahrzeugdrehmoment, bezw. auf das Lokomotivdrehmoment bezogene Gewichtsziffer benutzen. Das Fahrzeugsdrehmoment, d. h. die auf einen Triebradius 1 bezogene Zugkraft am Radumfang steht offenbar in engem Zusammenhang mit dem Motordrehmoment und daher mit dem Motorvolumen und dem Motorgewicht. Aber auch die Anforderungen an die mechanische Festigkeit des rein mechanischen Fahrzeugteiles bedingen eine Abhängigkeit des Gewichtes von Drehmoment. Lediglich das Gewicht der elektrischen Leitungen, Transformatoren und Nebenapparate ist nicht strenge abhängig vom Drehmoment. Da aber weitaus der grösste Gewichtsanteil eines elektrischen Fahrzeuges mit dessen Drehmoment direkt zusammenhängt, so ist offenbar der Gebrauch einer auf das Drehmoment gegründeten Vergleichsziffer gerechtfertigt. Bezeichnet man das Fahrzeugsgewicht mit G, das Fahrzeugsdrehmoment mit D_f, so hat die Vergleichsziffer den Wert $\frac{G}{Df}$. Bezeichnet man weiter mit G_o das Adhäsionsgewicht des Fahrzeuges, mit μ den Adhäsionskoeffizienten und mit D_r den Triebraddurchmesser, dann gilt für die Vergleichsziffer der Zusammenhang:

$$\frac{G}{Df} \geqq \frac{G}{G_o} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{2}{Dr} \cdot$$

Der Ausdruck $\frac{G}{G_o}$ hat als reziproker Wert des sog. Adhäsionsverhältnisses eine eminent praktische Bedeutung. Offenbar wird gerade bei Schnellzugslokomotiven mit Laufachsen das Adhäsionsverhältnis kleiner als 1 sein und damit zum Ausdruck bringen, welcher Anteil an Konstruktionsgewicht für eine gute Lauffähigkeit bei hoher Geschwindigkeit ausgenutzt wird. Bei einem Adhäsionsverhältnis gleich 1 und einen Triebradius 1 wird dann die Vergleichsziffer im Grenzwert gleich dem reziproken Adhäsionskoeffizienten. Diesen Grenzwert zu erreichen muss man als das Ideal des Lokomotivbaues bezeichnen, indem das Bestreben der Konstrukteure dahin zu gehen hat, die Lokomotive gerade nur so schwer zu gestalten, als die Anforderung an die Adhäsion erheischt. Zurzeit ist man für die Einphasentraktion (wie übrigens für jede elektrische Traktion) von diesem Ideal noch weit entfernt. Man hat für heutige Verhältnisse bei Einphasenstrom etwa mit

$$\frac{G}{Df} = 11^{\text{bis}}\,13\ \text{kg./mkg.}$$

zu rechnen. Dieses Resultat ist indessen schon erheblich günstiger als das, welches die beste Dampflokomotive aufweisen dürfte.

In Bezug auf den Einbau der neben den Motoren in den Triebfahrzeugen noch weiter benötigten elektrischen Ausrüstung ist vor allem die Art der Regulierungsanlage massgebend. Diesbezüglich wurde bereits darauf hingewiesen, dass einerseits für den eigentlichen Wechselstrom-Seriemotor und für den Repulsionsmotor mit Ankererregung die Verwendung von Transformatoren mit veränderlichem Uebersetzungsverhältnis üblich ist, während für den eigentlichen Repulsionsmotor das Prinzip der Bürstenverstellung hauptsächlich in Frage kommt. Die Regelung bei Transformatoren mit veränderlichem Uebersetzungsverhältnis kann entweder eine direkte oder eine indirekte sein, d. h. es können in einem Fahrschalter entweder die den Motoren bei verschiedenen Spannungen zuzuführenden Arbeitsströme direkt gesteuert werden, oder es können im Fahrschalter lediglich Steuerströme geregelt werden, welche dann die Schalter der Arbeitsströme elektromagnetisch betätigen; für grössere Leistungen kommt nur die letztgenannte Methode in Betracht, wenn es sich um Transformatoren mit sprungweiser Regulierung handelt und nicht um sog. Induktionsregler. Die Regelung nach dem Prinzip der Bürstenverstellung ist erst in neuester Zeit in praktische Verwendung gekommen und erscheint dank ihrer Einfachheit als ausserordentlich zukunftsverheissend; bei Ausrüstungen für grosse Leistungen können hier Transformatoren überhaupt wegfallen, da sich die Motoren als Hochspannungsmotoren bauen lassen.

Zusammenfassend können wir in der Ausbildung der Triebfahrzeuge für elektrischen Vollbahnbetrieb mit Einphasenwechselstrom, die wir in ihren wesentlichen Punkten kurz behandelt haben, heute bereits eine Abklärung in Bezug auf die in Betracht fallenden Motorarten, auf die in Betracht fallenden Antriebsanordnungen und Reguliereinrichtungen feststellen. Auch liegen bereits alle wesentlichen Erfahrungsgrundlagen vor, die für den Entwurf und Bau von Triebfahrzeugen zu befolgen sind.



RÉSUMÉ

La présente Communication sur le développement des véhicules-moteurs pour la traction électrique par courant monophasé sur les grandes lignes de chemin de fer porte d'abord sur les principaux types de moteurs de traction à courant monophasé, dont la caractéristique et les qualités au freinage sont décrites. La relation entre le couple-moteur et le volume actif des locomoteurs d'un véhicule est étudiée en vue de son application aux projets d'établissement des équipements moteurs. Les divers systèmes de commandes par moteur électrique sont analysés en vue de leur application aux automotrices et aux locomotives. Pour les véhicules-moteurs, en général, le chiffre du poids par unité du couple-moteur est expliqué, pour servir à la comparaison de différents véhicules. Finalement quelques remarques sont signalées au sujet de l'installation nécessaire pour le réglage des moteurs.

DISCUSSION

sur les Rapports de MM. CALZOLARI et KUMMER.

M. C. O. MAILLOUX (New York), *Président. Observe qu'une étude aussi importante et aussi profonde que celle qui vient d'être présentée par l'ing. Calzolari, ne peut pas manquer d'exciter une discussion intéressante. Il voit, parmi les membres présents, plusieurs personnes, spécialistes d'autorité et de distinction dans la traction électrique. La personne tout spécialement indiquée pour ouvrir la discussion est M. von Kando, dont l'expérience, la réputation et la renommée sont reconnues partout dans le monde de la traction (surtout de la traction par courant triphasé, où personne ne saurait lui refuser la toute première place); M. von Kando est donc invité à prendre la parole.*

M. KALMAN VON KANDO (Vado Ligure). — *M. le président. Tout d'abord, je veux vous remercier des paroles flatteuses que vous avez bien voulu prononcer à mon égard, en m'invitant à faire un résumé sommaire du mémoire et des conclusions de M. G. Calzolari. J'avoue que je n'avais pas eu l'intention de prendre part à cette discussion, car je me sens trop intéressé dans la question des systèmes, trop avocat du système triphasé, pour ne pas être considéré comme partial, malgré tous mes efforts pour rester au point de vue objectif.*

M. Calzolari a donné tout d'abord une histoire de la discussion sur les systèmes triphasé et monophasé, et puis il a relevé et comparé les qualités caractéristiques des deux. Je dois remarquer qu'il a traité le système triphasé avec une sympathie évidente. Ceci est un point d'autant plus important en faveur du système triphasé, que M. Calzolari connaît ce système de près, et que sa sympathie est le résultat d'un contact intime et prolongé avec l'exploitation pratique de la traction triphasée.

1) *Un des points les plus importants mentionnés par M. Calzo-*

lari est la question de la récupération. La consommation de combustible à la Station génératrice, lorsqu'il y a récupération, est de 16 pour cent moindre que la consommation sans récupération. Ce chiffre, donné par l'exploitation pratique, est assez considérable, surtout si l'on tient compte du fait que le poids des trains qui montent est à peu près de 50 pour cent supérieur à celui des trains qui descendent la ligne, et, de plus, qu'une partie de l'énergie récupérée est détruite par le rhéostat de sûreté installé dans la station centrale. Cette dernière circonstance, cependant, n'est que temporaire, car, en raison de l'extension de la traction électrique sur cette ligne, le fonctionnement du rhéostat de sûreté sera très limité, sinon éliminé complètement. Actuellement, les pertes durant la marche à vide du système suffisent déjà pour consommer l'énergie récupérée d'un train régulier (500 tonnes avec deux locomotives) descendant à petite vitesse; le rhéostat de sûreté ne fonctionne que quand un train descend à grande vitesse (45 km. à l'heure).

Le plus grand succès de la récupération est le fait que, contrairement aux prévisions des adversaires du système triphasé, elle s'est démontrée tout-à-fait sûre dans son application pratique, à tel point que l'administration des Chemins de Fer de l'État italien a décidé d'augmenter la vitesse permise aux trains qui descendent en faisant de la récupération, en sorte que leur vitesse soit d'à peu près 50 pour cent plus grande que pour les trains à vapeur descendant avec le freinage ordinaire. Et nous ne devons pas oublier que cette décision est celle d'une administration de Chemins de Fer extrêmement prudente, qui a passé des mois à dresser le personnel avant de permettre la récupération régulière, précaution sage de sa part, qui, cependant, avait porté le public à douter de la possibilité pratique de la récupération.

2) *Un autre point important est la question de la constance de la vitesse. Les horaires des Chemins de Fer sont basés et établis sur la vitesse moyenne maxima possible, en laissant une marge suffisante entre la durée prescrite, et la durée minima possible, du parcours. Dans les cas où l'on emploie des moteurs à vitesse constante, cette marge est toujours disponible, indépendamment des conditions de la voie, du poids du train, et des autres circonstances qui influent sur les moteurs à vitesse variable. Il est arrivé, souvent, sur la ligne de la Valteline, que les trains à vapeur allant de Milan à Lecco aient eu des retards considérables, tandis que les locomotives triphasées ont pu, sous les mêmes conditions difficiles, non seulement maintenir l'horaire mais même gagner du temps.*

3) *Il est beaucoup question de la ligne de contact. Évidemment, la double ligne de contact est un disavantage du système triphasé; mais la critique a été toujours exagérée sur ce point. La plus grande installation de double ligne de contact, celle du Chemin de Fer des Giovi, a été construite par l'administration des Chemins de Fer de l'État, elle-même. Cette circonstance est extrêmement importante, car les installations des lignes de contact triphasées, comme celle de Burgdorf-Thun, de la Valteline et du Simplon, ont été construites par des maisons spécialistes, et pourraient être considérées comme des tours de force, qu'une maison de construction peut se permettre, même avec sacrifices, trouvant des avantages dans les autres parties de l'équipement. En faisant elle-même l'installation de la ligne de contact, l'administration des Chemins de Fer a fait un genre de travail qui n'est pas du tout de son métier. Malgré cela, je dois reconnaître que ce travail a été très bien exécuté.*

4) *Finalement, je parlerai d'un autre point important du rapport de M. Calzolari, c'est-à-dire de la question de la puissance rapportée au poids des locomotives. M. Calzolari s'est montré, içi, indulgent pour le système monophasé; car il a comparé le poids de la locomotive monophasée la plus puissante avec celui de la locomotive triphasée du type Giovi, laquelle ne peut nullement être considérée comme le* nec plus ultra *de légèreté par cheval effectif. Il suffirait d'augmenter la ventilation des moteurs pour augmenter considérablement la puissance de ces locomotives. Si le poids de la locomotive est supérieur à celui absolument nécessaire pour l'adhérence, il peut influencer la consommation d'énergie considérablement. Ainsi, il suffirait que les locomotives des Giovi soient plus lourdes de seulement 20 tonnes pour augmenter la consommation de charbon de 1600 tonnes par an, dans le cas d'un service de trains à tous les dix minutes.*

M. RICCARDO VALLAURI (Berlin). — *Il apprécie les travaux du Comité d'organisation et la difficulté que peut offrir la répartition d'un total de 31 rapports entre les questions d'actualité en électrotechnique. Il lui semble, cependant, que l'actualité du rapport sur la comparaison entre le triphasé et le monophasé soit un peu contestable, surtout à l'étranger. Actuellement, toutes les grandes administrations de Chemins de Fer en Europe qui ont entrepris l'électrification — de la Suède à la Suisse, de la Prusse à l'Autriche, et au midi de la France — n'ont laissé aucun doute sur leur choix. La seule exception notable est l'administration des Chemins de Fer italiens, laquelle, ayant commencé l'électrification à une époque où*

le monophasé était à peine entrevu, semble aujourd'hui montrer un conservatisme qui est peut-être justifiable, comme tendance naturelle d'une grande administration d'État. Donc, si la question, au point de vue international, a réellement perdu beaucoup de son actualité, elle en conserve beaucoup au point de vue national; et nous, Italiens, sommes reconnaissants au Comité d'avoir posé cette question.

L'orateur regrette de ne pas avoir pu prendre connaissance du rapport avant lecture par l'ing. Calzolari lui-même, ce qui l'empêche de suivre les divers points et d'en discuter les conclusions dans l'ordre de leur présentation. Il déclare franchement, se basant sur une pratique intéressante et sérieuse, datant de plusieurs années, faite par lui dans les bureaux de construction et de projets d'une grande maison de traction électrique, qu'il diffère notablement d'avis avec le distingué Rapporteur. Il se permettra de résumer rapidement et de discuter sommairement les caractéristiques fondamentales des systèmes en question, sous une forme synthétique, en tenant compte autant que possible des importants résultats récents des expériences allemandes.

Commençant par la ligne, il n'hésite pas à dire que l'inconvénient d'une ligne de contact double, à un point de vue large et général, paraît devoir être, à lui seul, prohibitif. Il semble, en effet, tel pour un grand nombre de techniciens étrangers. Il estime qu'on devrait prévoir une généralisation plus grande des électrifications. Or, une grande station de raccordement *complètement électrifiée présente, avec la double ligne de contact, une difficulté et une complication terribles. Un aiguillage triple, un croisement un peu compliqué, une plateforme tournante, sont presque impossibles. Et même l'aiguillage simple, qui exige l'interruption d'une seule phase et son isolation de la phase opposée, est, par elle-même, un inconvénient notable, soit pour la construction soit pour l'exploitation.*

Cette necessité de l'isolement réciproque des deux phases aériennes limite radicalement les tensions admissibles. Aux 15000 volts du monophasé correspondent les 3000 volts du système triphasé. Cela signifie que, si l'on proportionne, comme il est d'usage, les sections de cuivre de la ligne de contact à la chute de tension maxima permissible, et tenant compte du rendement variable de la transmission triphasée en regard de celui de la transmission monophasée, on peut, avec le même cuivre en ligne, et pour le même trafic, alimenter avec une sous-station de transformateurs, un champ d'exploitation 22 fois plus grand avec le courant monophasé

qu'avec le triphasé. Ceci représente une augmentation notable du coût de l'installation d'alimentation, puisque, avec cette répartition des sous-stations, déjà désavantageuse et coûteuse par elle-même, on obtient, aux sous-stations, des diagrammes de charge moins bien remplis et, par conséquent, une forte augmentation de la puissance totale des transformateurs à installer.

Mais les tensions basses comportent une autre difficulté. " Basse tension „ veut dire " haute intensité „, et cela exige un dispositif convenable de prise de courant. Or, les dernières expériences allemandes ont précisément démontré que, surtout pour la traction à grande vitesse, un des points difficiles, ou au moins bien délicats, du service de traction, est la prise de courant elle-même. Les constructeurs se sont mis à l'œuvre immédiatement, et ils ont réussi à construire des systèmes de prise de courant autant que possible divisés, élastiques, et mobiles, disposés de manière à assurer la continuité et la régularité du contact, avec un minimum *de poids et, pourtant, d'énergie dépensée par frottement; mais, même içi — vu, qu'à 100, 120, 140 km. à l'heure, à cause des secousses qui se transmettent de la locomotive à la ligne, et de l'influence perturbatrice de la résistence de l'air, il n'est ni facile ni simple de prendre, sur une ligne de contact unipolaire (tendue et ajustée parfaitement et dont les oscillations ne peuvent, d'ailleurs, causer aucun court-circuit), la soixantaine d'ampères qu'il faut, à 15.000 volts de tension, pour alimenter une locomotive de 1000 chevaux — il est clair que ces difficultés peuvent devenir très grandes quand la ligne est double, les contacteurs sont doubles, et quand 60 ampères deviennent 180.*

Une deuxième série d'inconvénients du système triphasé se retrouve dans les propriétés caractéristiques du moteur triphasé. Le moteur triphasé ordinaire possède une caractéristique de moteur en dérivation, et il est lié, par sa nature même, à la vitesse de synchronisme. Par des moyens plus ou moins ingénieux, mais aussi plus ou moins compliqués, et aux dépens du rendement et du facteur de puissance, on peut bien faire marcher le moteur à une ou deux autres vitesses; mais, abstraction faite de l'absorption partielle d'énergie, qui s'appelle régulation par résistance, la rigidité de la caractéristique n'est pas améliorée, et l'on reste toujours radicalement éloigné de la souplesse de régulation que présentent les autres systèmes. Une preuve très convaincante et qui démontre combien peu commodes et pratiques sont des solutions aussi imparfaites et insuffisantes que le couplage en cascade, la variation du

nombre de pôles, la régulation par rhéostat, etc., c'est que, dans les installations stationnaires, le moteur triphasé à vitesse réglable et à collecteur se répand très rapidement, bien qu'il ne soit encore que récent. Ceci nous porte à croire que, si le système monophasé n'existait pas, et que nous soyons absolument forcés de prendre l'énergie nécessaire pour la locomotive à une ligne tripolaire, nous aurions été amenés, suivant toute probabilité, à songer à l'usage du moteur à traction triphasé à collecteur, *cet organe qui ne fait plus aucune horreur ou peur, et avec lequel, seul, on parvient à obtenir d'un moteur quelconque cette docilité précieuse si appréciable. Que, sans insister sur des observations plus ou moins paradoxales, un haut degré de régulabilité soit une condition essentielle pour la traction, peut se déduire de la constatation de l'évolution déjà accomplie ou en voie de s'accomplir, dans le champ même de la traction monophasée, par des moteurs de certains types, pour lesquels on a dû renoncer à certaines qualités excellentes, précisément pour pouvoir répondre aux besoins toujours croissants d'une régulation étendue. Deux autres points faibles du moteur triphasé sont constitués par son facteur de puissance réduit et sa sensibilité aux abaissements de la tension d'alimentation. La façon bien différente de se comporter du moteur monophasé en série, sous ces deux rapports, est bien connue et comprise de tous les techniciens. Pour pouvoir conserver au moteur triphasé un facteur de puissance acceptable, il a fallu réduire l'entrefer au* minimum, *ce qui entraîne des difficultés, ou au moins des désavantages de construction et des conditions de service mauvaises; et la sensibilité à la tension oblige à augmenter la section de cuivre de la ligne. On peut encore noter, en passant, deux autres inconvénients secondaires du système, qui sont la complication résultant de tout l'appareil d'insertion et de commande pour trois phases, et la possibilité toujours éventuelle d'une répartition inégale de la charge entre les divers moteurs d'une locomotive ou entre les moteurs de deux locomotives accouplées l'une à l'autre, ce qui oblige à l'emploi de dispositifs spéciaux.*

En présence d'un tel amas de difficultés, inconvénients et défauts, dépendants de la nature même du système triphasé, et, pour cette raison, presque indépendants de tous perfectionnements possibles, certaines personnes ont été portées à définir le système triphasé comme la négation d'un système de traction électrique; il ne semble rester qu'un seul défaut au système monophasé, c'est l'emploi d'un collecteur. Mais, sur ce point, ce sont justement les dernières expériences allemandes qui ont donné le coup décisif à certaines

craintes et ont fait disparaître les derniers doutes. Le développement très rapide de la puissance des moteurs monophasés de traction construits durant les dernières années, qui ont passé presque d'un seul bond de 200-300 à 800 et à 1000 chevaux, pouvait, en effet, faire craindre aux plus prudents quelque surprise désagréable, au moins pour les premiers modèles construits; cela n'est pas arrivé. Nous avons ainsi des moyens de recherche toujours plus subtils et précis que l'électrotechnique moderne possède pour la prévision, sur papier, avec ses symboles et ses chiffres, des phénomènes physiques. Des moteurs de 1000 chevaux sont déjà depuis quelques mois en service; ils ont marché et ils marchent, sur la ligne Dessau-Bitterfeld, à des vitesses atteignant jusqu'à 120 km. à l'heure, sans étincelles au collecteur; *une connaissance plus sûre et complète des phénomènes de commutation donne maintenant la maîtrise presque sans limites pour la construction des moteurs. En raison des résultats obtenus, on peut déclarer que le collecteur est maintenant devenu un organe solide, sain, et sûr, comme n'importe quelle partie de la machine, et qu'il n'y a plus aucune raison d'en être préoccupé.*

Il convient de noter encore un autre point, qui peut sembler défavorable au système monophasé, c'est celui des poids et prix, indiscutablement plus avantageux avec les locomotives triphasées. Quant aux prix meilleurs, ils sont sûrement compensés par le plus grand coût de l'installation apportant l'énergie aux locomotives. Quant aux poids plus faibles il faut bien se rappeler ceci: lorsque l'utilisation du matériel a été portée à un tel point, comme c'est le cas pour presque toutes les locomotives monophasées modernes, qu'à la charge normalement supportable par les moteurs ceux-ci font glisser les roues, toute économie ultérieure de poids est presque sans valeur.

Il convient de dire encore un mot au sujet de la récupération de l'énergie, bien que cette propriété n'ait pas, en réalité, beaucoup à faire avec la question des systèmes.

On sait que le système monophasé comporte, naturellement, la possibilité de la récupération, et cela non seulement pour une vitesse ou deux vitesses, mais sans limites, en ce qui concerne le moteur à collecteur, c'est-à-dire pour un nombre quelconque de degrés de régulation. Sur ce point, à propos de ce qu'a dit l'honorable Rapporteur, on relève qu'il fut lui-même en état de communiquer à cette section le fait qu'une locomotive monophasée puissante, pour laquelle la récupération a été prévue, a fait ses courses d'essais durant les derniers mois, sur la ligne Dessau-Bitterfeld.

La locomotive est équipée avec deux moteurs, chacun de 800 chevaux; quatre vitesses de récupération ont été prévues. Les essais ont donné d'excellents résultats. Si le moteur monophasé n'a presque pas eu d'autre occasion, jusqu'ici, de montrer, sur une grande échelle, sa faculté de récupération, c'est dû au champ limité d'applicabilité de la récupération elle-même. Il n'est pas nécessaire de s'arrêter sur ce point, en répétant des considérations bien connues; il suffit de rappeler, entre autres, qu'en récupération, la diminution de charge à la station centrale est plus que compensée par une surcharge équivalente, plutôt supérieure, de l'équipement des locomotives; et d'ailleurs, on doit noter que les chiffres donnés aujourd'hui, à propos de l'économie de combustible à la centrale de la ligne des Giovi, en dépit des conditions favorables de cette ligne, ne semblent pas élevés.

Quant aux avantages de toutes sortes du freinage électrique, les résultats d'une plus longue expérience nous donneront des renseignements sûrs; mais il est dès maintenant certain que si "faire travailler le moteur comme frein „ pour économiser les bandages de roues et les sabots de freins veut dire "prolonger la durée „ de ceux-ci, cela veut aussi dire " intensifier le travail „, et, en conséquence, raccourcir la durée des moteurs.

*Avant de finir, il y a lieu encore de relever une actitude défensive des partisans du système triphasé qui mérite quelques observations; c'est la considération des " cas spéciaux „. On dit qu'il y a des lignes présentant des conditions déterminées, comme les lignes de montagne, à déclivités fortes et constantes, avec trafic dense et uniforme, etc., et pour lesquelles certaines propriétés du système triphasé peuvent avoir une importance bien grande, conditions pouvant introduire des éléments spéciaux de décision dans le choix. Ici, surtout, nous trouvons un point de vue nouveau et important, qui a trait à l'*unité *du système à adopter, quant à l'extension future et à la liaison des électrifications. Les avantages de l'unification du système, sous divers rapports — même matériel, même expérience, et même personnel — n'ayant plus besoin d'être excessivement et diversement spécialisé etc., sautent aux yeux de tout ingénieur pratique.*

Il convient de chercher avec soin si nous n'avons pas, dès maintenant, des éléments suffisants pour déterminer lequel des systèmes en vue aujourd'hui, se rapproche le plus probablement du système (dont les caractéristiques définitives sont encore inconnues) qui, dans le cours de cinq ans ou de vingt ans, aura triomphé des

autres. Cette recherche a pour but, naturellement, de réduire au minimum *les frais de transformation et d'adaptation des systèmes d'à présent. Il suffira de rappeler — d'autant plus que ce point de vue échappe réellement à notre champ électrotechnique — que toutes les administrations de chemins de fer européens mentionnées ont tenu compte de ces principes dans leur tâche d'électrification.*

Même l'argument du cas spécial a reçu un coup mortel par une nouvelle qui s'est répandue dans le monde technique durant les mois derniers. Une ligne très importante, dont l'électrification est imminente, est celle du Gothard. On y trouve plusieurs des conditions qui devraient être favorables au système triphasé. Plusieurs d'entre nous se rappellent sans doute qu'un technicien très éminent de la traction électrique triphasée, qui nous honore de sa présence aujourd'hui — l'ing. De Kando — dans un article mémorable, plein d'adresse et d'éloquence avait précisément, pour la défense de ses belles locomotives et de tout le système triphasé, choisi l'électrification de la ligne du Gothard, pour nous présenter une étude comparative. Or, la Commission suisse qui, depuis des années, étudie le problème de l'électrification des lignes fédérales, et à laquelle tous les techniciens accordent une compétence de premier ordre, a achevé, depuis deux mois, l'étude spéciale faite par elle sur l'électrification de la ligne du Gothard, en concluant en faveur du système monophasé. Il ne faut pas oublier que, précisément en Suisse, le système triphasé a pris un développement notable et trouvé des constructeurs éminents.

Voici une nouvelle qui peut vraiment motiver de graves réflexions en Italie. Nos administrations de chemins de fer ont été, sans doute, parmi les précurseurs dans le champ de la traction électrique; elles ont des techniciens distingués en cette matière, auxquels, assurément, l'importance de la situation actuelle ne peut pas échapper.

Il est probable qu'une revision de certaines tendances et de certaines convictions, et qu'un renouvellement d'études basées sur le travail intense et fécond qui s'accomplit à l'étranger, soient imminents en Italie.

De cette revision, de ce renouvellement, nous avons déjà un écho, au moins par comparaison avec d'autres manifestations de l'administration des chemins de fer italiens — dans la belle Communication de l'ing. Calzolari; et, cet écho, nous l'avons entendu avec un plaisir spécial, nous, ingénieurs italiens demeurant à l'étranger;

nous nous occupons avec passion de ces problèmes, nous conservons toujours, au-dessus de toutes autres pensées, celles des intérêts de la patrie.

M. ALFREDO DONATI (Rome) *croit devoir faire quelques corrections aux observations de M. Vallauri, sur le caractère des installations de traction électrique des chemins de fer italiens. Il rappelle le fait que les chemins de fer italiens, avec une initiative hardie, exécutèrent, dès l'année 1898, des installations considérables de traction électrique suivant des programmes établis après étude sérieuse et générale, et conformes à tout ce que la technique d'alors considérait comme étant le meilleur.*

Les systèmes choisis furent les suivants:

La traction à accumulateurs sur la ligne Milano-Monza et sur la ligne Bologna-San Felice; la traction à courant continu avec troisième rail sur la ligne Milano-Gallarate-Varese; et la traction à courant triphasé à haute tension sur les lignes de la Valteline.

Les techniciens italiens ont le mérite indiscutable d'avoir indiqué et établi, pour l'électrification des grandes lignes de chemin de fer, la haute tension pour les lignes de contact, alors que, dans tous les autres pays d'Europe et d'Amérique, on n'avait jamais voulu dépasser la tension de 600 volts pour les lignes de contact.

La Société Ganz, sur la base fixée pour la tension maxima, proposa, et l'administration des chemins de fer italiens accepta, le système triphasé comme étant celui qui semblait le mieux approprié au but, la construction de moteurs monophasés pour la grande traction sur les chemins de fer n'étant pas alors (1898) considérée comme possible.

On sait que l'installation des lignes de la Valteline confirma pratiquement l'usage des hautes tensions pour les lignes de contact; et l'on s'inspira de ces résultats pour l'installation triphasée de la ligne expérimentale de Zossen, ainsi que pour les lignes monophasées qui, pendant ce temps, avaient été étudiées et construites.

En 1905, lorsqu'il fut question d'électrifier la vieille ligne des Giovi pour en augmenter le trafic, l'adoption du système triphasé s'imposait, soit par le caractère de la ligne (rampes fortes, trafic dense avec trains lourds), soit en raison de l'imprudence qu'il y aurait eu à recourir, pour une ligne si importante desservant le port de Gênes, à des systèmes nouveaux et alors encore à l'étude, comme l'était le système monophasé. Notons, enfin, que, même la traction monophasée a, dès son début, recueilli les sympathies des techniciens des chemins de fer italiens, puisque, en 1904, des pourparlers

eurent lieu en vue d'expériences de traction monophasée avec moteurs Finzi; c'est pour des raisons non-techniques seulement que ces pourparlers n'eurent pas de suite pratique.

L'application du système monophasé n'a pas été faite jusqu'à présent sur les chemins de fer de l'État italien, parce que l'occasion ne s'en est pas encore présentée, étant donné le caractère des lignes électrifiées.

Le fait que les chemins de fer de l'État n'ont pas adopté le triphasé comme système exclusif de traction électrique est démontré par les extensions importantes, maintenant en cours d'exécution, de l'installation à courant continu des lignes de Varese, où des locomotives de plus de 1200 Kw. seront employées pour remorquer des trains lourds à la vitesse de 90 km. à l'heure.

L'ing. Donati estime que chacun des trois systèmes, courant continu, triphasé, et monophasé, a ses propres qualités et défauts, et que l'on doit, pour chaque cas, choisir le système qui s'adapte le mieux. Ainsi, pour l'électrification des lignes provinciales de Parme, il recommanda l'application du système monophasé, même sur le réseau urbain, et le résultat a répondu aux espérances les plus favorables.

Quant à l'électrification par le système triphasé des grandes stations où le service des marchandises est étendu, avec beaucoup de voies d'échange (aiguillages), que l'ing. Vallauri considère comme impossible, en raison de l'encombrement excessif et des difficultés de montage et d'exploitation dues à la présence des deux fils aériens, il suffit d'observer que les difficultés dépendent, en général, non pas de la pose des fils, mais plutôt de la nécessité de ménager entre les voies des espaces de largeur suffisante pour l'installation des poteaux de support.

Ces poteaux, et, par conséquent, les larges espaces entre voies, sont nécessaires, quel que soit le système des conducteurs aériens triphasés et monophasés. A preuve et quant à la possibilité d'équiper les grandes stations avec le système triphasé, il suffit de citer l'exemple de la station de Busalle, la plus grande station électrifiée jusqu'à présent dans tout le monde; elle présente un développement de plus de huit kilomètres de voies électrifiées reliées par trente-sept aiguillages, dont environ un tiers sont de système anglais.

Suivant l'ordre de grandeur, la station de Pontedecimo est la seconde; celle-ci, bien que moins grande, a presque toutes ses voies et aiguillages en courbe et en rampe.

En dépit de tout cela, l'installation des appareils aériens triphasés n'a pas exigé de soins spéciaux, puisque, après l'installation des poteaux, l'équipement électrique aérien fut fait par les ouvriers des chemins de fer de l'État dans le cours d'environ un mois.

L'appareillage aérien triphasé n'exige pas que le nombre de poteaux soit plus grand ou qu'ils soient disposés d'une manière différente de ce qu'il faut pour le système monophasé; par conséquent, même à ce point de vue, le système monophasé ne diminue pas les difficultés qui se présentent pour la location des poteaux sur les espaces entre voies des Stations.

Enfin, même l'inconvénient d'avoir aux aiguillages aériens-triphasés une alimentation monophasée *sur une étendue de sept mètres est facilement écarté en équipant les locomotives avec deux séries d'archets, ayant entre eux un espacement de huit mètres.*

Ainsi qu'il est facile de le vérifier sur la ligne des Giovi, le fonctionnement des trolleys et locomotives triphasés est absolument irréprochable; il assure une prise de courant ininterrompue et sans aucune étincelle.

Entre les stations, la ligne aérienne triphasée se comporte parfaitement, aussi bien dans le cas où la suspension est transversale, comme sur la ligne de la Valteline et celle des Giovi, que dans le cas où la suspension est caténaire, comme sur la ligne Lecco-Calolzio, où l'on atteint avec les trolleys une vitesse de 106 km à l'heure, ce qui est la vitesse maxima compatible avec les conditions de cette voie.

Malheureusement, il n'y a pas encore, en service, avec le système monophasé, un réseau de chemin de fer qui présente les difficultés et possède l'importance de celui des Giovi; il n'est donc pas possible d'établir des comparaisons et de déduire des conclusions sûres.

Le trafic aussi bien journalier qu'annuel de la ligne des Giovi étant très intense (de 160 à 180 mille tonnes-km. réelles par jour et 58 à 66 millions de tonnes-km. réelles par an ; c'est-à-dire 640.000 à 700.000 tonnes-km. virtuelles par jour et 235 à 255 millions de tonnes-km. virtuelles par an), il semble évident qu'il y a intérêt d'avoir (surtout en raison des fortes rampes, atteignant 35 °/₀) des locomotives de poids minimum *par unité de puissance ; c'est le cas pour la ligne des Giovi, dont les locomotives, de puissance égale à celles du Loetschberg, pèsent 27 tonnes de moins.*

Avec un tel trafic, la consommation de charbon par tonne-kilomètre virtuel, avec la traction à vapeur, était de 65 grammes; avec la traction électrique, la consommation à la station génératrice est



de 29.5 watt-heures. En partant de ces chiffres de consommation, il est facile de déduire la valeur relative des frais.

Quant à l'avantage d'avoir des locomotives dont la vitesse soit variable entre des limites très étendues, M. Donati ne peut pas acquiescer aux idées de M. Vallauri, puisqu'il est préférable, dans un service de chemins de fer, de baser l'horaire des trains sur des vitesses constantes permettant la meilleure utilisation de la ligne, eu égard à son équipement; par suite, deux, ou tout au plus trois, vitesses sont plus que suffisantes pour n'importe quel grand trafic de chemins de fer.

Sur la ligne de la Valteline, on est bien plus sûr de faire circuler les trains à traction électrique, d'après l'horaire, à vitesse obligatoire, que les trains à traction à vapeur, puisque les locomotives mêmes en raison des rampes et des courbes, pouvant marcher à des vitesses variées en rampes fortes, sont trop sensibles à l'influence du poids des trains remorqués.

Puisque, pour chaque ligne, certaines vitesses maxima sont fixées et dépendent principalement de l'état de l'équipement et des travaux d'art, il y a avantage à ce que les locomotives soient à vitesse constante et peu inférieure ou égale à la vitesse limite, pour utiliser au maximum la capacité de la ligne. Quant aux prétendus avantages d'un type unique, M. Calzolari fait observer que l'expérience de la traction à vapeur démontre que, sur les lignes à grand parcours, il est reconnu avantageux de changer la locomotive pour chaque partie du réseau, soit pour en adapter le type aux conditions spéciales à chaque partie, soit à cause des étapes de service des machines et du personnel.

Il devrait forcément en être de même des locomotives électriques, et l'unification de type des équipements électriques resterait une conception théorique sans avantages pratiques, attendu que cette solution impliquerait tous les inconvénients de l'adaptation d'un seul type à des besoins variés.

En ce qui concerne la récupération de l'énergie, il faut considérer, outre l'avantage d'une consommation moindre d'énergie et, par conséquent, d'une économie de combustible pour les stations centrales à vapeur, ou d'une économie d'eau pour les stations centrales hydrauliques, qu'il y a un avantage financier même assez grand, dû à la plus grande durée des rails, des bandages, des roues, et des sabots des freins, comme conséquence de la suppression de l'action continue des freins mécaniques dans les pentes. D'après les données relevées sur la ligne des Giovi, il est maintenant certain que la

récupération permettra de plus que doubler la durée des rails, lesquels, quoique du poids de 50 kg par mètre, ne duraient pas plus de trois ans avec la traction à vapeur.

L'économie des bandages de roues et des freins pour les locomotives et les voitures remorquées peut être évaluée à environ 7000 lires par locomotive-an en service sur la ligne Pontedecimo-Busalla.

Ainsi la pratique déjà longue des chemins de fer italiens quant aux divers systèmes de traction électrique, permet d'affirmer nettement que, pour chaque cas spécial, on doit demander à l'étude de fixer lequel des trois systèmes (courant continu à haute tension, triphasé, monophasé) doit être choisi pour l'application envisagée des lignes à électrifier.

En outre, il ne faut pas croire que le système de traction triphasé soit maintenant hors de combat; au contraire, pour certains cas de la grande traction des chemins de fer sur les lignes italiennes, où le trafic est dense et comporte des rampes, ce système se montre assez bien approprié.

Je résume ci-dessous les résultats des essais et de l'exploitation sur la ligne des " Giovi ":

	Lignes des " Giovi " Tronçon Pontedecimo-Busalla
Longueur réelle	10.4 kilom.
Longueur virtuelle	65 " de Pontedecimo à Busalla
Id. id.	3 " de Busalla à Pontedecimo
Différence d'altitude entre les gares extrêmes	270 m.
Maximum de pente	35 ‰ à découvert ? ? ‰ dans le tunnel des " Giovi "
Minimum de rayon des courbes	300 m.
Système de traction	Triphasé
Usine génératrice	Thermique, à la " Cava della Chiappella " à 11 kilom. de Pontedecimo
Tension des alternateurs appliquée directement sur les lignes de transmission	14.000 volts triphasés-triangle
Ligne de transmission	Double; conducteurs en cuivre de 8 mm. de diamètre
Ligne de contact	100 mm^2 de section de cuivre par phase

Longueur réelle du tronçon d'essai	10.4 kilom.
Longueur virtuelle du tronçon d'essai	65 „
Différence d'altitude entre les gares extrêmes	270 m.
Pente maximum	35 ‰
Poids total du train d'essai	500 tonnes
Poids utile remorqué par le train d'essai	380 „
Rapport du poids utile au poids total	0.76
Tonnes-kilom. virtuelles remorquées par le train d'essai . .	24.700
Energie absorbée par le train d'essai et mesurée à l'usine génératrice	550 KWH
Energie per tonne-kilom. virtuelle remorquée	22.3 WH

Dans le cas de deux trains simultanés d'un poids total de 500 tonnes chacun, l'un montant de Pontedecimo à Busalla et l'autre descendant de Busalla à Pontedecimo, l'énergie consommée par tonne-Kilom. virtuelle remorquée tombe à 13.5 Watt-heures.

Les essais des trains électriques du tunnel des " Giovi „ furent entrepris dans le courant du mois de juin 1910.

Dès le début, les résultats constatés furent excellents, de sorte que l'on put aussitôt substituer graduellement la traction électrique à la traction à vapeur. Vers la fin de l'année 1910, on fit les premiers essais de réception des installations et du service intensif en faisant circuler, en montée et à dix minutes d'intervalle, des trains électriques du poids total de 500 tonnes chacun.

Les résultats parfaits de ces essais de service intensif conduisirent à l'adoption immédiate de la traction électrique pour tous les trains, tant de voyageurs que de marchandises sur le tronçon Pontedecimo-Busalla. La substitution fut complète à partir du 1r mars 1911. On acheva ensuite la pose de la ligne électrique de contact de Pontedecimo à Campasso (9 kilom.); ce tronçon de ligne passa, à son tour, à la traction électrique dans le courant du mois de juillet 1911. Sur le tronçon Bivio Rivarolo-Sampierdarena, les travaux d'électrification sont presque terminés.

Les deux lignes de transmission d'énergie à 14000 volts, de l'usine génératrice aux sous-stations fixes de transformation, n'ont jamais donné lieu à aucune suspension de service ni à d'autres inconvénients.

De même, les lignes de contact à 3000 volts et les installations aériennes dans les gares ont toujours fonctionné régulièrement.

La longueur moyenne des portées de la ligne primaire de transmission est de 50 mètres avec un maximum de 70 mètres.

Celle des portées de la ligne de contact est de 25 mètres avec un maximum de 35 mètres.

La ligne de contact est soutenue au moyen de suspensions transversales; l'isolateur de cette ligne est à double isolement; par suite, l'isolement entre les deux phases aériennes est quadruple.

En outre, l'isolement par rapport à la terre est triple du fait qu'on a isolé, au moyen d'isolateurs à gorge, le fil d'acier servant à la suspension transversale.

L'adoption de l'isolement multiple explique les bons résultats d'exploitation donnés par la ligne de contact, même quand le service s'effectuait encore partiellement avec des locomotives à vapeur.

Les appareils électriques aériens des changements, tant simples qu'anglais, ont constamment assuré l'alimentation triphasée des locomotives et n'ont jamais présenté le moindre inconvénient; c'est là une constatation à retenir, car, jusqu'ici, l'opinion de nombre de personnes était que ces appareils devaient donner lieu à de sérieuses difficultés d'exploitation.

La suspension transversale employée sur la ligne des " Giovi „ a permis d'avoir une ligne de contact d'une grande simplicité, non seulement sur le parcours entre les gares, mais même à l'intérieur des gares.

L'appareillage électrique aérien des changements est des plus simples, bien que les gares de Busalla et de Pontedecimo se distinguent entre toutes celles électrifiées en Europe et en Amérique par le développement considérable des voies et par le nombre des changements électrifiés.

Le trolley est à contact par frottement; il se compose de tubes de laiton à section triangulaire; même à l'intérieur des tunnels et au passage des appareils aériens des changements, son fonctionnement est à l'abri de toute critique; il donne une prise très effective de courant, sans étincelles, quelle que soit l'intensité de vitesse de la marche des trains.

Le remplacement des tubes en laiton du contact s'opère rapidement et avec la plus grande facilité. La moyenne du parcours que peut fournir un de ces tubes avant d'être hors d'usage est d'environ 4000 kilomètres.

Les locomotives électriques triphasées Gr. 0,50 employées sur la ligne des " Giovi „ sont parfaitement aptes au service très dur qu'elles sont appelées à accomplir.

Les moteurs triphasés se prêtent à merveille à des surcharges considérables. L'extrême simplicité de leur construction est une garantie certaine de leur fonctionnement régulier.

La transmission du mouvement des moteurs aux cinq axes couplés s'effectue par l'intermédiaire d'une bielle triangulaire, munie en son milieu d'un curseur qui permet le libre jeu des ressorts de suspension; ce système, à la pratique, s'est montré excellent, même aux plus grandes vitesses, il fonctionne avec un très bon rendement et sans augmenter sensiblement la résistance propre de la locomotive.

Les déplacements latéraux des axes de la locomotive sont rendus possibles grâce aux pivots sphériques des manivelles des moteurs et aux genouillères des bielles d'accouplement.

La traction double et triple au moyen de locomotives en tête et en queue des trains s'effectue normalement, sans qu'il soit besoin de dispositifs spéciaux pour relier la locomotive de tête à celle de queue; le poids de la charge se répartit également entre les diverses locomotives du train.

Le démarrage et la marche de ces trains à traction multiple s'opèrent exactement par les mêmes procédés que lorsqu'ils sont mus au moyen de locomotives à vapeur; cette qualité très importante des locomotives électriques est désormais démontrée expérimentalement.

Lorsque l'adhérence propre des locomotives (60 tonnes) est entièrement mise à profit, un train d'un poids total de 500 tonnes remorqué par une locomotive en tête, poussé par une autre en queue et chargé de 380 tonnes de matériel, démarre très facilement sur la pente continue de 35 °/₀₀ et atteint la vitesse de 45 kilom. à l'heure en moins de 200 secondes.

Sur le tronçon Pontedecimo-Busalla, on fait normalement monter 13 trains de voyageurs, presque tous à double traction, avec locomotive en tête et en queue, et 19 trains de marchandises, en grande partie à double et même quelques-uns à triple traction.

Le poids moyen des trains en montée est d'environ 220 tonnes pour les trains de voyageurs, et de 370 tonnes pour les trains de marchandises.

En descente, le nombre normal des trains de voyageurs tombe à 7, et celui des trains de marchandises à 13. A ces quantités il faut ajouter le nombre des trains de locomotives de retour.

La consommation journalière d'énergie pour l'exploitation normale du tronçon Pontedecimo-Busalla et pour tous les services accessoires et de manœuvre, s'élevait de 18000 à 20000 Kwh. quand on n'effectuait pas la récupération d'énergie des trains en descente.

Les poids journaliers qu'une telle dépense d'énergie suffisait à remorquer étaient:

En montée,

de 100000 à 110000 tonnes-kilom. réelles
et de 625000 a 680000 „ „ virtuelles.

En descente,

de 60000 à 70000 tonnes-kilom. réelles
et de 17000 à 20000 „ „ virtuelles.

La consommation moyenne d'énergie a donc été de:

180 à 190 Wh. par tonne-kilom. réelle remorquée en montée
8 à 9 „ „ „ „ „ „ en descente
29 à 30 „ „ „ „ virtuelle remorquée.

La récupération de l'énergie des trains en descente a réduit ces valeurs d'un septième environ (de 14 à 15 °/₀).

En effet, sur le parcours entier de Campasso a Busalla qui comprend les deux tronçons électrifiés, le trafic journalier, de 18000 à 19000 tonnes-kilom. réelles, correspondant à 75000-79000 tonnes-kilom. virtuelles remorquées, s'effectue moyennant une consommation journalière de 19000 à 20000 Kwh. en récupérant l'énergie des trains en descente.

Par tonne-kilom. virtuelle remorquée, la consommation moyenne d'énergie est donc de 24,5 Wh.

Le même service effectué, à titre d'essai, sans récupérer l'énergie des trains descendants, a demandé 29 Wh. par tonne-kilom. virtuelle remorquée.

Avec le trafic indiqué plus haut, la consommation annuelle d'énergie électrique, sur la totalité du tronçon Campasso-Busalla, s'élèvera à environ 7 millions de Kwh. et la puissance maximum absorbée à environ 4000 Kw. L'utilisation théorique de la puissance maximum sera donc de 1750 heures par année, et, par suite, le coefficient d'utilisation de cette puissance sera de 0.20.

On voit par là combien il serait avantageux d'alimenter les installations de traction électrique au moyen d'usines génératrices hydro-électriques desservies par un réservoir suffisant pour, au moins, une journée de trafic et qui serait relié aux turbines par une conduite entièrement sous pression.

Le Président *remercie M. l'ing. Donati de sa discussion très intéressante.*

M. Frédéric Koromzay (Budapest). — *Messieurs, tout d'abord je dois rectifier une déclaration erronée de M. Vallauri, d'après laquelle toutes les administrations des chemins de fer européennes — à l'exception de celle de l'Italie — auraient décidé d'adopter le système monophasé. Je dois déclarer, comme représentant du gouvernement hongrois, que la Hongrie n'a encore pris aucune décision au sujet du système de traction électrique à employer.*

Suivant mon avis personnel, les grands avantages du système triphasé, énumérés dans l'intéressant rapport de M. Calzolari et dans les observations de MM. von Kando et Donati, placent ce système au premier rang lorsqu'il s'agit de l'électrification d'une ligne à traction intense.

Sans vouloir entrer dans une discussion approfondie, j'admets que les deux systèmes en question répondent aux exigences quant à la sécurité et à la régularité du trafic le plus pénible. En conséquence, nous pourrions éliminer, dès maintenant, cette question de la discussion. Cela posé, le choix du système à employer dépendra uniquement des frais d'installation et d'exploitation. Il suffira donc d'appeler à un concours international, sous les mêmes conditions, les deux systèmes. Suivant moi, dès qu'il s'agit véritablement d'une traction pénible — sur des rampes fortes — le système triphasé sera moins coûteux comme première installation et plus économique d'exploitation.

En Hongrie nous avons récemment ouvert la première ligne monophasée à 10.000 volts. Mais, aussitôt qu'il s'agira de l'électrification des grandes lignes, je présume que le système triphasé sera appliqué.

M. Henry Graftio (St.-Pétersbourg). — *Messieurs! Permettez-moi d'appeler votre attention sur quelques points. Dans la discussion qui a suivi le rapport si intéressant de M. l'ing. G. Calzolari, sur les résultats (vraiment pratiques et du plus haut intérêt pour les chemins de fer) obtenus en Italie, avec le triphasé, on a exprimé l'opinion — si j'ai bien compris — que le triphasé se meurt; qu'il y a un système plus nouveau et plus parfait — le monophasé —; que ce système est le seul qui convienne pour les grandes lignes; et que toutes les administrations de chemins de fer en Europe se sont prononcées et se sont décidées en faveur du monophasé pour l'électrification des grandes lignes et des réseaux entiers de grandes lignes. Or, messieurs, cette assertion est, d'abord, erronée, parce que les Chemins de fer de l'État français (Est-Ouest) vont électrifier leurs lignes de banlieue de Paris avec le courant continu, et les*

Chemins de fer de l'État russe se sont réservés pleine liberté de choix et vont employer tous les trois systèmes — le continu, le triphasé et le monophasé — là où chacun de ces systèmes présentera les avantages les plus marqués; cette assertion n'est donc pas justifiée non plus. Ce n'est pas la première fois qu'on entend parler du soi-disant accord entre toutes les administrations de chemins de fer sur ce point; mais il me semble que cette rumeur a pour cause principale un phénomène connu par les électriciens sous le nom d'" induction mutuelle „. Cette rumeur est aussi basée sur une fiction, un mythe, que toute personne sensée a intérêt à détruire. Cette fiction ou, pour mieux dire, ce mirage, consiste dans l'idée de l'électrification générale des réseaux entiers; car c'est là qu'on trouve la seule et unique raison plus ou moins logique ou justifiable d'un système de traction unique. Cette raison a déjà été alléguée au Congrès international des Chemins de fer à Berne, où elle donna lieu à une discussion très approfondie. Mais, même au Congrès de Berne, il a été reconnu que cette raison est tout-à-fait illusoire. Certains, parmi Messieurs les Rapporteurs au Congrès de Berne, ont démontré clairement, chiffres en mains, que la traction électrique peut avantageusement remplacer la traction à vapeur dans deux cas:

1° quand l'énergie électrique revient par Kilowatt-heure, à moins de tant ou tant de "pfennigs „ ou de "hellers „ (on parlait de la Bavière et de l'Autriche);

2° quand le trafic dépasse une densité telle ou telle en tonnes-kilomètres par an. Or, on voit d'ici, bien clairement, qu'il existe des lignes, et non seulement des lignes, mais des réseaux entiers et énormes, où la traction électrique, quel que soit le système préconisé, n'est pas du tout justifiée, par des raisons économiques. *Et alors tout l'échafaudage des raisonnements en faveur de l'unification de système de traction électrique tombe de lui-même. Et, messieurs, entre parenthèse, les cas où, actuellement, la traction électrique se présente avantageusement vis à vis de la traction à vapeur, sont précisément ceux où le courant continu et le courant triphasé (les deux ayant déjà atteint une perfection tout-à-fait pratique, pour les ingénieurs des administrations qui ont la responsabilité de l'exploitation et du service des trains) présentent tous les avantages, tant techniques qu'économiques, sur le monophasé: — ce sont les cas d'électrification des lignes à trafic très intense, près des grandes villes, et des lignes où les rampes sont fortes et les trains lourds.*

Pour ces raisons, le Congrès de Berne ne s'est pas rangé du

côté des rapporteurs qui préconisaient le monophasé comme système unique et universel pour l'électrification des grandes lignes; mais il a voté, à l'unanimité, le libre choix de tel système de traction électrique qui conviendrait le mieux à chaque cas. L'idée d'imposer le monophasé comme système unique n'a pas pris non plus à Londres, à la réunion de l'Institution of Mechanical Engineers, en 1910, ni au Congrès de Chicago, cette année; et il est facile d'entrevoir qu'elle ne prendra nulle part.

Je me permettrai de citer encore un exemple d'une ligne sur laquelle la traction électrique ne s'est pas trouvée justifiée par des raisons économiques: — c'est la ligne Seebach-Wettingen en Suisse, où l'on est revenu à la traction à vapeur, et où l'on a enlevé tout l'équipement électrique de la ligne. Pour en finir avec ce point-là, c'est-à-dire avec le mirage de l'électrification générale et du système de traction électrique unique et universel, je me permettrai de citer mon propre pays. En Russie, nous avons des conditions avantageuses pour tous les systèmes de traction électrique; mais nous avons également des milliers de kilomètres où la reine des engins de traction actuels — la locomotive à vapeur — est encore et restera pour bien longtemps le système de traction le plus parfait et le plus économique. Je voudrais m'arrêter encore sur une question, celle des prétendus avantages de la multiplicité de vitesses que donnent le continu et le monophasé en comparaison avec le triphasé. Nous sommes habitués, dès l'enfance, à voir un cheval traîner une voiture plus lentement sur une rampe que sur une pente ou en palier, et de voir une locomotive à vapeur faire la même chose; mais ce serait un effet de pur atavisme de considérer, avec les moyens que nous donne la traction électrique, que cet état de choses est le meilleur, surtout pour les lignes accidentées. Au point de vue de la sûreté et de la régularité d'exploitation, au point de vue de la vitesse "commerciale" maxima avec des amplitudes de vitesse minima, au point de vue de l'économie de l'exploitation (y compris la question de l'usure des bandages des roues et des sabots de freins, du nombre de freins par train et du personnel d'équipe nécessaire pour le freinage des trains lourds de marchandises), au point de vue de l'obtention du maximum de capacité de transport d'une ligne accidentée, à tous ces points de vue, le système de traction le plus parfait est celui qui comporte la possibilité de conserver automatiquement *une ou deux ou trois vitesses constantes, de monter les rampes à des vitesses au moins pas inférieures à celles de descente et mieux encore à des vitesses supérieures, et, enfin, qui*

permet d'employer la récupération au plus haut degré, et automatiquement, *pour se dispenser, autant que possible, du freinage mécanique.*

Vous voyez aisément, messieurs, que pour des lignes de ce genre, le triphasé est au-dessus de tous les autres systèmes de traction électrique. Il reste et restera, encore pour une autre raison, justifié pour les lignes à profil accidenté, savoir le poids beaucoup plus petit d'une locomotive triphasée comparée à une locomotive monophasée de même puissance et de même effort de traction. Si l'on considère toutes *les locomotives électriques modernes existantes, en service, aux essais, ou en construction, et si l'on s'en rapporte à la puissance maxima développée (en chevaux) durant une heure sous les conditions les plus favorables de marche (qui se trouvent être dans la marche à vitesse maxima, aussi bien pour les locomotives triphasées que pour les locomotives monophasées et celles à courant continu), nous trouvons des chiffres intéressants. Ainsi, le rapport de la puissance maxima développée durant une heure au poids total de la locomotive (pour toutes les locomotives électriques, exception faite de celles de Kiruna-Richsgreuse, de la maison Siemens, et de celles du Loetschberg, de la maison Oerlikon) a les valeurs suivantes:*

Puissance en chevaux aux jantes des roues par tonne de poids total:

Locomotives triphasées	de 30 à 33
Locomotives à courant continu	de 20 à 24
Locomotives monophasées	de 13 à 15.

Je fais des réserves pour les locomotives Kiruna-Richsgreuse. Les données publiées dans certains journaux techniques contiennent des chiffres un peu élevés et qui sont en dehors des valeurs moyennes indiquées ci-dessus, puisqu'elles représentent 20 chevaux aux jantes des roues par tonne de poids total. La même observation s'applique aux locomotives du Loetschberg. Je suis d'avis, personnellement, que l'expérience démontrera la nécessité d'augmenter le poids de ces locomotives pour les rendre plus solides et durables. En tous cas, les chiffres mentionnés sont très concluants, surtout pour des lignes accidentées.

Je voudrais encore relever ici une expression qui a été employée à tort, selon moi. On a dit que la traction triphasée n'est plus moderne et qu'elle est le résultat d'un certain conservatisme. Il

y a ici un grand malentendu. La traction triphasée d'il y a douze ans n'est peut-être plus moderne, en effet, mais, depuis douze ans, depuis les locomotives de Burgdorf-Thoun, et même celles de Zossen-Marienfelde, que de grands progrès ont été réalisés! Et les locomotives triphasées qui assurent si admirablement le trafic gigantesque de la ligne des " Giovi „ ne sont-elles pas parmi les engins de locomotion des plus modernes qui existent actuellement, en service régulier? *Je souligne ces derniers mots parce qu'il y a une différence entre le " service régulier „, que tout ingénieur de chemins de fer ayant la responsabilité du service connaît très bien, et le " service d'essais „ où la locomotive à vapeur peut toujours arriver à temps pour sauver la situation. Je pourrais aller plus loin. Nous ne savons pas encore comment se comporteront, en service continu et régulier, au point de vue mécanique, les nouveaux types de locomotives à essieux de renvoi et à bielles latérales, et quels seront les frais d'entretien de ces locomotives. Nous serons fixés sur ce point dans trois ou quatre ans seulement!*

En résumé, il me semble qu'il ne serait pas raisonnable et logique de notre part de donner la préférence à un système quelconque de traction électrique existant, soit à courant continu, soit à courant triphasé, soit à courant monophasé. Toute solution de problèmes tellement variés comme le sont ceux de la traction sur les grandes lignes, par un moyen unique et universel, apporte et comporte toujours la médiocrité dans les résultats. Le développement libre de l'industrie électrique dans le champ de la traction électrique nous a donné les résultats merveilleux que nous connaissons tous. Conservons cette liberté de développement pour l'avenir.

Pour terminer, la question du choix d'un système unique de traction électrique me fait venir à l'esprit une comparaison que vous me pardonnerez de vous signaler. Le cas est tout comme si quelqu'un, en désignant trois très belles dames, l'une blonde, l'autre brune et la troisième châtaine, désirait absolument savoir l'opinion de tout le monde et décider laquelle est la plus belle. Il me semble que si elles sont belles toutes les trois, on ne peut pas espérer trouver une opinion unanime en faveur de l'une des trois. Toutes les trois sont belles, et c'est tout; et c'est assez.

M. C. O. Mailloux (New York), Président. — *Les applaudissements que vous avez donnés aux paroles de M. Graftio indiquent que sa façon de penser et les idées qu'il a exprimées sont appréciées et acceptées assez généralement parmi vous.*

Je dois dire que sa discussion m'a beaucoup plu personnelle-

ment, en ce sens qu'elle fait ressortir la nécessité, lorsque l'on aborde des questions et des problèmes d'électrification, de voir clair, juste et loin, et de ne pas se prononcer pour ou contre tel ou tel système avant d'avoir étudié à fond, premièrement, les conditions générales ou particulières entrant en ligne et déterminant, parfois même d'emblée et arbitrairement, le choix d'un système; deuxièmement, les qualités et défauts des divers systèmes pour le cas particulier considéré. J'ai dit, dans une communication datant de dix ans, que tout problème d'électrification, bien qu'il puisse être étudié d'une manière générale à son début, c'est-à-dire avant qu'on ait décidé de s'en occuper sérieusement, sort de la catégorie des cas généraux pour rentrer dans celle des cas particuliers, dès qu'on veut entrer dans les détails. Or, dans la plupart des cas, l'étude technique complète, surtout lorsqu'elle est faite (ainsi qu'elle le devrait toujours) sans préjugé et sans parti pris, révèle des particularités ou des circonstances exceptionnelles, dont la portée et l'influence sont tellement grandes, qu'elles priment bien souvent toutes considérations d'ordre académique ou technique semblant, à priori, *être les seules valables et capables d'influencer ou de fixer le choix d'un système ou les bases d'un programme d'électrification. J'aurai l'occasion de vous parler plus tard, dans la communication (N. 22) que je dois faire sur l'électrification des chemins de fer, de ces considérations déterminantes arbitraires, auxquelles j'ai donné le nom de* facteurs péremptoires. *Je suis heureux de constater que M. Graftio les a entrevus et a signalé leur importance, dans sa discussion.*

Je vous avouerai, pour ma part, que les discussions entendues, tout en m'intéressant vivement, m'ont un peu étonné. Il est tout à fait naturel que je voie un peu les choses d'un œil plus ou moins " d'outremer ". Or, ce qui m'étonne c'est de constater que la même cause psychologique — l'esprit de rivalité — ait eu pour conséquence pratique, si non logique, d'engager l'opinion général dans des voies si différentes en Europe et en Amérique. J'ai dit que la cause est la même. On peut admettre qu'elle se traduit ou se manifeste, chez nous comme ici, par une même tendance, aussi regrettable que prononcée, à engager la discussion de l'électrification des chemins de fer sur le terrain étroit et " local " de la rivalité, ou de la supériorité ou infériorité, de tel ou tel système électrique, au lieu de la déployer sur le terrain beaucoup plus vaste et important de la rivalité entre l'électricité et la vapeur. J'ai toujours été d'avis que ce n'est pas en se querellant ou par des médisances

réciproques, que les divers systèmes électriques feront faire des progrès à la traction électrique dans le domaine que son adversaire et rival, la traction à vapeur, possède encore.

*La bataille des systèmes, soit-elle-même inévitable, pourrait bien, il me semble, être ajournée jusqu'au jour où l'on aurait réussi à convaincre les avocats et partisans endurcis (et souvent fanatiques) de la traction à vapeur, que la traction électrique a bien aussi sa raison d'être et qu'elle est admissible, au moins en principe, dans certains cas. On sait qu'il y a encore beaucoup de Compagnies de chemins de fer qui voient même l'*idée *de la traction électrique d'un bien mauvais œil. Il est bien vrai qu'elles ont parfaitement raison dans beaucoup de cas, où, comme M. Graftio l'a fort bien dit, la traction électrique, sous une forme quelconque, n'aurait aucune chance de réussite. Par contre, il est un grand nombre de cas où la traction électrique serait possible et pratique; malheureusement, le fait que, même les spécialistes en traction électrique, ne sont pas d'accord, et se livrent à des querelles de famille au sujet du système à préférer sur tous les autres, a naturellement pour effet de décourager ceux qui sont tant soit peu incrédules, et de les rendre encore plus méfiants. C'est ainsi que l'esprit de rivalité entrave le progrès de l'électrification des grandes lignes. Les administrateurs de chemins de fer, voyant que nous ne sommes pas d'accord entre nous, arrivent souvent à conclure qu'il serait sage d'attendre; en fait aucun système n'y trouve son compte.*

Ce qui est bien singulier, c'est la grande différence des deux côtés de l'Atlantique dans la bataille des systèmes Il semblerait qu'en Europe le courant continu ne compterait absolument pour rien dans la discussion des systèmes de traction électrique des grandes lignes. Ici, en Europe, tout le monde sent et comprend que la bataille des systèmes n'est engagée qu'entre les deux systèmes à courant alternatif, le triphasé et le monophasé. M. l'ing. Calzolari l'admet et le fait voir à chaque instant dans son rapport. Nous avons entendu que tous ceux qui ont pris la parole après lui, ne voient aussi, dans la bataille, que ces deux adversaires. Personne ne songe au courant continu. On dirait qu'il est hors de combat. En Amérique, la bataille des systèmes est engagée, au contraire, entre le courant alternatif *et le courant* continu. *On met, pour ainsi dire, le triphasé et le monophasé dans le même sac. Il convient d'observer, d'ailleurs, que le triphasé est loin d'être si bien connu et apprécié en Amérique qu'il l'est en Europe, puisqu'il n'a été appliqué qu'une seule fois à l'électrification du tunnel traversant*

les montagnes Cascade sur la ligne du Great Northern Railroad. En somme, quand on parle de traction à courant alternatif en Amérique, c'est plutôt et surtout le système monophasé qu'on a dans l'esprit. Il ne faut pas croire que le courant continu soit le plus à plaindre dans la bataille des systèmes. J'ai vu récemment des études et projets d'électrification à courant continu à haute tension (1500 à 2000 volts) qui sont sur le point d'être réalisés, et qui sautent aux yeux. Il s'agit de réseaux et de lignes de très grande envergure. Ainsi, l'une de ces lignes a plus de 1200 kilomètres de voie très accidentée (elle a des rampes plus fortes et plus longues que celles des Giovi) et un trafic très intense; en somme, elle présente toutes les conditions qui rendent le problème extrêmement difficile. On peut donc dire sans hésitation que la traction électrique à courant continu à haute tension, bien loin d'être mourante ou décadente, est, au contraire, florissante, en Amérique. Elle est loin d'avoir dit son dernier mot. Elle est préconisée par beaucoup de spécialistes distingués, y compris Potter, Armstrong, Hobart, etc.; et elle a surtout un champion vaillant et zélé, F. J. Sprague, dont le nom a droit à une importante place dans les annales de la traction électrique; c'est celui-là même qui fit faire à la traction électrique son premier grand pas dans la voie industrielle il y a plus de 25 ans, et qui, peut-être plus que toute autre personne vivante, a droit au titre de père de la traction électrique industrielle. Je suis sûr que vous regretterez tous, comme moi, que M. Sprague ne soit pas ici présent, et surtout, qu'il n'ait pas envoyé à ce Congrès le rapport qu'il avait promis de présenter sur une comparaison entre le courant continu à haute tension et le courant monophasé pour les lignes de banlieue. Personne ne pourrait mieux que lui présenter les qualités du courant continu à haute tension, et y opposer les défauts du courant alternatif.

On peut dire que c'est plutôt la traction à courant alternatif qui, actuellement, est sur la défensive, et a le plus de peine à trouver des partisans et à se propager en Amérique, bien qu'elle ait fait ses preuves et obtenu, en définitive, un succès incontestable sur une assez grande échelle, et qu'elle soit en voie d'extensions considérables, sur le réseau de la New York, New Haven and Hartford Railroad Company.

La divergence de vues qui fait que le système le plus répandu et peut-être le plus apprécié d'un côté de l'Atlantique — le continu en Amérique, et le triphasé en Europe — soit précisément le moins

goûté de l'autre côté, peut sans doute s'expliquer par des circonstances techniques, économiques ou industrielles.

M. EUGEN EICHEL (Berlin). — *La question de l'électrification des grandes lignes n'est pas aujourd'hui une question de système, mais exige la considération des circonstances qui peuvent influencer le choix en faveur de l'un ou l'autre des systèmes.*

On ne peut donc pas dire d'emblée qu'un système soit le meilleur pour tous les cas; encore moins, du fait qu'un système particulier a réussi dans un pays, peut-on conclure, qu'il est approprié à un autre pays. L'Allemagne, l'Autriche, la Suède, la Suisse ont en vue l'adoption du courant alternatif pour l'électrification de leurs grandes lignes. Il a été plusieurs fois déclaré que, d'après les dernières informations d'Amérique, un revirement d'opinion s'y produisait au sujet de la faveur dont jouissait le courant alternatif. Il faut connaître les conditions qui se présentent en Amérique pour bien interpréter ces renseignements.

Le système à courant alternatif a, en realité, été abandonné sur quelques réseaux urbains et interurbains, par les lignes qui, en raison de leur parcours total, n'avaient qu'un petit parcours où le courant alternatif était employé. La nécessité d'employer les deux systèmes était un inconvénient.

Il ne s'agissait que de lignes interurbaines. L'électrification des grandes lignes, dont on trouve l'exemple le plus frappant sur le réseau du New York, New Haven and Hartford, s'est seulement accrue dans la partie électrifiée, mais il a été décidé de procéder à l'équipement d'autres parties importantes de ce réseau.

L'auteur mentionne plusieurs lignes allemandes où la traction électrique à courant alternatif a donné des résultats très satisfaisants. Sur la ligne Dessau-Bitterfeld (26 kilomètres de voie double) existe un service journalier d'environ 20 trains de voyageurs omnibus (chacun de 240 tonnes) et rapides (de 330 tonnes) et 15 trains de marchandises (de 600 à 1500 tonnes). Les locomotives des trains de voyageurs développent une puissance de 1100 chevaux et atteignent des vitesses de 110 km. à l'heure avec des vitesses maxima de 130 km. à l'heure. Les locomotives de trains de marchandises peuvent remorquer 1400 tonnes à 25 km. à l'heure et ont une vitesse maxima de 60 km. à l'heure. Elles ont des moteurs capables de développer 600 chevaux pendant une heure. Actuellement, il y a 12 locomotives en service ou en construction. L'État a décidé, en raison des bons résultats obtenus depuis le mois de janvier avec ce commencement d'électrification, de procéder immédiatement à

l'électrification, déjà prise en considération, d'un ensemble de 154 km. Il s'agit de l'extension du service électrique vers les deux points de raccordement importants de Leipzig et Halle, au sud de Bitterfeld, et du point important de Magdebourg, au nord de Dessau. Pour ce trafic, on doit prochainement commander 40 locomotives, dont 23 pour trains de marchandises et 17 pour trains de passagers. La station centrale à Muldenstein devra être augmentée de 4 groupes électrogènes de 5500 chevaux chacun.

Ainsi qu'il a été dit en commençant, la technique de la traction électrique peut répondre à tous les besoins des administrations de chemins de fer désirant faire de l'électrification; ces dernières sont libres de choisir le genre de traction ou d'équipement qu'elles considéreront comme le plus convenable pour leurs besoins particuliers.

M. Gustave L'Hoest (Bruxelles). — *En Belgique, aucun choix n'a été fait quant au système de traction électrique à adopter. La première section de grand chemin de fer à électrifier comportera vraisemblablement l'emploi du courant continu, justifié sans doute par la grande densité du trafic.*

Il serait fort intéressant de posséder les données que l'expérience sur la ligne des " Giovi „ a pu déjà dégager quant aux économies de frais de freinage, quant à la diminution d'usure des bandages, roues, sabots, freins, et même des rails, que l'emploi des moteurs triphasés avec récupération a fait réaliser.

M. H. Beckmann (Berlin). — *A propos des remarques de M. le Président, disant qu'en Amérique la bataille des systèmes s'engage seulement entre le courant monophasé et le courant continu, il sera permis de citer, à l'appui, quelques chiffres publiés récemment, concernant des lignes américaines; ces données font voir que le courant continu gagne toujours en importance en Amérique. Les lignes à courant continu à haute tension, de 1200 à 1500 volts et au-dessus, jouissent d'une popularité spéciale en Amérique, comme aussi dans d'autres pays. Récemment la Société Westinghouse a entrepris l'équipement d'une ligne interurbaine, celle du Piedmont Northern Railway, dont le parcours est de 200 km. et qui marchera avec le courant continu exclusivement. L'équipement de la ligne comporte 23 voitures automotrices, et 14 locomotives de 55 tonnes chacune pour les trains de marchandises.*

Ce ne sont cependant pas seulement les nouvelles lignes, en Amérique, qui sont exploitées ou equipées avec le courant continu, mais il est aussi trois lignes qui, en premier lieu, s'orientaient vers le courant alternatif en dehors des sections urbaines, et qui furent

plus tard transformées en lignes à courant continu. Ce sont les lignes de Washington-Baltimore-Annapolis, de Milwaukee, et Warren-Jamestown. Certaines de ces lignes ont un parcours considérable. Concernant la ligne Baltimore-Washington-Annapolis, qui fut convertie en ligne à courant continu il y a environ un an et demi, il a été publié des résultats d'exploitation très intéressants, dont quelques données ci après: La ligne est maintenant alimentée par courant continu à 1200 volts; elle a 155 Km. de longueur. L'entretien du matériel électrique, après la généralisation du système à courant continu seul, a baissé de 0,37 cents à 0,24 cents, par voiture-mille. Le coût de l'énergie par voiture-mille était de 5,89 cents avec le courant alternatif; il s'est abaissé à 3,82 cents avec le courant continu. Les frais totaux ont passé de 23,78 cents à 19 cents (environ 20 %0 de réduction). En raison de la diminution des frais d'exploitation, les recettes nettes ont augmenté et, en même temps, les recettes brutes ont monté de 17,58 à 23,71 cents (35 %0). En outre, la substitution du courant continu s'est encore fait remarquer d'une manière avantageuse par le fait que les retards ont été diminués de beaucoup. Durant l'exploitation à courant alternatif, les retards ont atteint un total de 1186 minutes, dont 33,1 %0 dus au matériel électrique. Avec le courant continu à 1200 volts, les retards sont descendus à un total de 215 minutes, dont 19,12 %0 seulement imputables au matériel électrique. On voit, par ces chiffres, les avantages extraordinaires dus à l'abandon du système mixte, où le système à courant alternatif prédominait, et à l'adoption exclusive du système à courant continu à haute tension. Indépendamment de ces résultats américains, on peut dire que aussi en Allemagne des résultats entièrement favorables au courant continu ont été obtenus. Sur la ligne Hambourg-Ohlsdorf, qui emploie le courant alternatif, les frais totaux d'exploitation, pour l'année 1909, étaient de 0,727 pfennig par tonne-kilomètre, tandis que, d'autre part, sur la ligne Berlin-Grosslichterfelde, qui emploie le courant continu à 550 volts, ils n'étaient que de 0,512 pfennig. Il faut compter que si la ligne Lichterfelde était exploitée à la moderne, *avec du courant continu à environ 1500 volts, les frais d'exploitation seraient sans doute tombés encore plus bas. Diverses lignes à courant continu à haute tension ont aussi été construites en Hongrie, comme en Italie, durant les dernières années. Il n'y a pas à se méprendre sur ce fait que, surtout en Amérique, parmi les techniciens de chemins de fer, un bouleversement d'idées se fait sentir en faveur du courant continu au détriment du courant monophasé.*

On peut juger de l'étendue du revirement d'opinion par le rapport d'un ingénieur de chemins de fer australien revenant d'Amérique dernièrement, et qui, dans une revue australienne, s'exprime comme suit:

" On trouvera cependant des partisans du courant monophasé, mais l'argument le plus concluant contre ce système est que, durant les trois dernières années, on n'a pas installé en Amérique une seule ligne ou un seul tramway en monophasé, quoique l'on ait installé un grand nombre de lignes à courant continu. Je parle de voitures automotrices et non pas de locomotives monophasées. Ces dernières ont réussi, dans une certaine mesure, mais elles ne seraient pas appropriables à nos lignes suburbaines. J'ai été aux États-Unis l'année dernière et j'ai pu me renseigner personnellement sur cette question ".

S'il est bien certain que le monophasé soit préférable au continu pour de grandes lignes à trafic peu intense, on peut d'autre part affirmer que, pour l'exploitation des lignes de ville et de banlieue, le continu est matériellement préférable au monophasé. On sait que plusieurs administrations de chemins de fer européennes se sont prononcées en faveur de l'emploi exclusif du monophasé pour toutes sortes de lignes. Vu que l'opinion, en Amérique, où l'expérience en matière d'exploitation des lignes est bien plus étendue qu'en Europe, délaisse le courant alternatif d'une manière significative, il semble que le moment soit venu d'examiner s'il n'y a pas lieu, pour les conditions européennes aussi, de choisir le courant continu comme plus convenable pour les lignes urbaines et interurbaines, et de voir si, aujourd'hui, la décision en faveur de l'emploi exclusif du monophasé comme système type est encore logique.

M. C. O. MAILLOUX (New York), Président, *invite le Dr. Behn-Eschenburg, directeur de la Société Oerlikon, en Suisse, à prendre la parole. Il fait allusion aux connaissances et aux travaux techniques qui ont acquis à l'interpellé une réputation enviable, et donnent beaucoup d'autorité et d'actualité à ses idées sur la question.*

M. H. BEHN-ESCHENBURG (Oerlikon), *est bien aise d'avoir entendu parler des défenseurs si distingués du courant alternatif. Il s'était persuadé, d'après les données historiques, que le triphasé, au début, lorsqu'il n'y avait encore aucun autre système de traction à courant alternatif, répondait à un besoin, et qu'en outre, surtout en raison des travaux remarquables de M. von Kando, il avait reçu de nombreuses et importantes applications, en dépit, pourrait-on dire, de la complication évidente de la ligne de contact, de la pro-*

priété embarassante de ses moteurs, qui n'atteignent leur meilleur rendement qu'à la vitesse maxima, de sa limite naturelle de tension de ligne, qui, en pratique, est de 3000 volts, et pour l'avenir ne saurait dépasser 6000 volts même dans les circonstances les plus favorables.

Il n'est pas probable que, si le monophasé eût atteint plus tôt son état de perfection actuel, le triphasé eût encore trouvé des applications. M. Behn-Eschenburg, d'accord avec M. Eichel, estime que chaque pays et chaque entreprise de chemins de fer, a le droit et le devoir de consulter ses propres intérêts.

En qualité de Suisse, et comme représentant de la Société Oerlikon qui a participé à tous les systèmes de traction électrique, il se permet d'appeler l'attention sur les étapes du développement de la traction électrique en Suisse.

Ainsi qu'il a été dit, la Commission Suisse d'Études, représentant tous les chemins de fer et constructeurs suisses intéressés, après enquête prolongée, a décidé que, pour ces chemins de fer, le monophasé donne la solution la moins coûteuse et la plus pratique. La Société des Alpes Bernoises, constructeur de la ligne Bern-Lötschberg-Simplon, après des essais prolongés avec une locomotive Oerlikon de 2000 chevaux, a commandé huit autres locomotives de 2500 chevaux à 15000 volts et 15 périodes par seconde, du même modèle. Les Sociétés Oerlikon et Brown-Boveri ont entrepris la livraison de ce matériel. Ce succès, si important pour les chemins de fer suisses, repose principalement sur l'expérience d'exploitation acquise sur la ligne en question; il est aussi une conséquence des résultats favorables donnés par l'exploitation expérimentale faite avec le monophasé sur la ligne Seebach-Wettingen. En réponse ici à une remarque faite au cours de la discussion, il convient de dire que le service de la traction électrique sur cette ligne n'a pas du tout été abandonné en raison de résultats défavorables, mais parce que les chemins de fer de l'État n'avaient aucune raison, vu les difficultés de production de l'énergie électrique, de continuer les expériences sur cette ligne, leur but ayant été complètement atteint, c'est-à-dire après qu'elles eurent démontré à l'évidence les facultés d'adaptabilité et d'applicabilité aux grandes lignes du système proposé par la Société Oerlikon.

M. EUGEN EICHEL (Berlin) *approuve les observations du Dr. Behn-Eschenburg. Il estime qu'il est intéressant de savoir qu'une installation expérimentale soigneusement faite et pleinement réussie, ait été puis arrêtée et démontée.*

La ligne Seebach-Wettingen fut choisie parce qu'elle se trouvait vers une des usines Oerlikon. Elle n'est pas de celles que les chemins de fer fédéraux avaient l'intention d'électrifier définitivement. Cependant les essais sur cette ligne ont permis de démontrer les avantages du transport par traction à courant alternatif. En raison des bons résultats obtenus, la Société des Alpes Bernoises, en décidant d'électrifier sa ligne et celle de Raethisch, commença l'électrification d'une partie considérable de son réseau.

Ceci correspond parfaitement au cas des chemins de fer de l'État Prussien-Hessien, où, ainsi qu'on le sait, la ligne Spindlersfeld fut mise à la disposition de l'Industrie pour des essais de transport à courant alternatif. Ces lignes expérimentales, aussitôt que les essais eurent donné des résultats favorables, furent de nouveau exploitées à la vapeur; la ligne Altona-Ohlsdorf fut équipée en permanence pour la traction à courant alternatif.

Dernièrement, à l'occasion de la parade impériale, le nombre de personnes transportées par heure a atteint 20.000, tandis que, en 1904, à la même occasion, il n'était que de 5.000. Le jour de réception de l'Empereur il y eut un transport total de 300.000 personnes, ayant employé un total de 98 voitures semblables à celles exposées par les compagnies électriques allemandes à l'Exposition de Turin.

Quant aux observations du Dr. Beckmann, elles tiennent probablement à une connaissance insuffisante des conditions d'exploitation en Amérique. On voit que ses renseignements et conclusions sont basés sur une interprétation contestable des informations publiées par les journaux techniques. C'est surtout le cas pour l'exemple cité par le Dr. Beckmann du transport en courant continu, à 1200 volts, de la ligne Washington, Baltimore and Annapolis, qui était antérieurement à courant monophasé. Nous avons ici un exemple démontrant que la transformation de certaines lignes courtes en lignes à courant continu à 1200 volts, sur les réseaux urbains et interurbains en Amérique, n'indique pas du tout que les lignes à courant alternatif, en général, sont ou ne sont pas pratiques.

Les réseaux urbains et interurbains en Amérique ont, en se plaçant au point de vue européen, des longueurs de voie tout-à-fait extraordinaires, souvent de plusieurs centaines de kilomètres. Cela s'explique par le fait qu'ils résultent de la fusion d'un grand nombre de petites entreprises. Le noyau du système comporte une ou plusieurs grandes villes, ayant des réseaux étendus de tramways reliés entre eux par des lignes interurbaines, auxquelles se rattachent

d'autres petits réseaux de villages en partie construits ou à construire.

Dans les villes et villages, le courant continu et les lignes de contact pour 600 volts existent déjà. Si, comme on l'a dit, on équipe en courant alternatif une nouvelle partie de réseau ne représentant qu'une petite proportion du réseau entier, il faut que les trains puissent aussi utiliser le courant continu quand ils entrent dans les villes; ceci a pour effet d'augmenter le poids de l'équipement et d'influencer fâcheusement l'économie du système à courant alternatif. Le pire, pour les directeurs d'exploitation, est que le service à courant continu ne puisse s'étendre sur la partie à courant alternatif. Ou peut citer plusieurs lignes américaines où ces conditions ont été précisément prépondérantes.

Le cas de la ligne Washington, Baltimore and Annapolis était encore le plus désavantageux. Non seulement les trains devaient marcher avec le courant continu dans les rues des villes, mais les conditions d'exploitation dans la ville de Washington même sont difficiles. Sur une partie du réseau les tramways sont à caniveau, dans une autre ils sont à double trolley, et, dans une troisième partie, ils sont à trolley ordinaire. Cela nécessite une grande complication des appareils de prise de courant. De plus, en raison de leur poids lourd, les voitures ne pouvaient, ce qui était un grand inconvénient, pénétrer à l'intérieur de Washington.

D'autre part, certaines compagnies interurbaines équipées au courant alternatif, par exemple la ligne Spokane-Inland (216 km., 28 voitures motrices de 400 chev. chacune, 6 locomotives de 540 chev. et 5 de 700 chev.), se trouvent satisfaites de leur choix. L'Electric Railway Journal du 15 juillet donne un rapport du directeur d'une ligne de 110 km. (Chicago, Lake Shore and South Bend), qui exprime une grande satisfaction du système adopté, disant que les frais d'entretien n'excèdent pas ceux d'un système à courant continu de même capacité et que les recettes brutes et nettes ont augmenté d'une manière satisfaisante.

Le Dr. Beckmann cite une appréciation d'un ingénieur australien défavorable aux lignes à courant alternatif en Amérique. Ce collègue australien dit plutôt vrai en déclarant que la construction des lignes à courant alternatif ne fait pas de progrès du côté des lignes urbaines et interurbaines.

En réalité, le système de traction à courant alternatif fait beaucoup de progrès en Amérique, pour la traction sur les grandes lignes. La New York, New Haven and Hartford Company est

satisfaite de l'électrification d'une grande partie de son réseau. Elle possède un total d'environ 60.000 chevaux en locomotives, 15.000 chevaux en voitures automotrices, en service ou en construction. Un ensemble de 75.000 chevaux d'équipement de traction à courant alternatif ne semble pas indiquer que l'Amérique soit en retard quant à l'emploi du courant alternatif pour les grandes lignes.

On a dit que l'électrification des grandes lignes ne devient possible que quand l'énergie électrique ne coûte pas cher, par exemple lorsqu'elle est produite par la houille blanche. Il y a lieu de remarquer que le prix de revient de l'énergie peut être réduit, non seulement par l'utilisation de l'énergie hydraulique, mais surtout par l'utilisation rationnelle du combustible bon marché à l'endroit même où l'on le trouve. Les grosses Stations génératrices, combinées, au besoin, avec des installations électro-chimiques et métallurgiques, fourniront l'énergie à bon marché aux grandes lignes. Au lieu des trains lourds de charbon, nous aurons un mince fil de cuivre, pour transporter l'énergie. Ainsi, la station centrale de la ligne Dessau-Bitterfelde est placée près d'une grosse houillère et, pour l'électrification de la ligne Lanbau-Königszelt (Silésie), une grande centrale sera construite près des houillères de cette région.

M. KALMAN VON KANDO (Vado Ligure). — *Je désire faire une courte observation à la dernière remarque de M. Eichel. Il a mentionné, avec une certaine fierté, la puissance totale du matériel roulant monophasé construit ou en construction à ce jour comme preuve de la supériorité du système monophasé. Si on examine la Statistique des électrifications, on voit que la plus grande partie des locomotives monophasées a été construite par la Westinghouse Electric and Manufacturing C., laquelle, comme tout le monde le sait, a obtenu un grand succès avec son matériel de traction. Or, cette maison reconnaît franchement, dans ses publications, que chacun des trois systèmes a sa raison d'être. Elle recommande aussi, entre autres, le système triphasé pour les lignes à fortes rampes. Vous voyez que cette maison, qui aurait droit d'être partiale, n'est pas du tout fanatique en ce qui concerne le monophasé.*

M. Graftio a caractérisé les décisions des Commissions d'études et des Administrations, en principe favorables au système monophasé, comme un phénomène d'induction mutuelle. Je veux étendre sa comparaison en disant que l'induction mutuelle ne détermine la direction du courant dans un circuit que lorsqu'il n'y a pas une source de force électromotrice plus importante dans le circuit. Il y a, en Amérique, deux sources de forces électromotrices extrême-

ment puissantes: ce sont les deux grandes Compagnies, la Westinghouse et la General Electric. L'une admet loyalement que chaque système a sa raison d'être; l'autre est catégoriquement opposée au système monophasé.

M. l'Ing. C. Palestrino (Turin). — *On ne devrait pas, dans cette discussion, s'occuper seulement du système en général, pour savoir si le courant doit être triphasé, monophasé ou continu. Si l'on se rappelle que le système monophasé possède tous les avantages du courant alternatif pour la facilité du transport à grande distance, et ceux du courant continu pour la régulation de la vitesse, sans avoir les principaux désavantages, soit du triphasé soit du continu, et qu'il présente surtout le grand avantage d'un seul conducteur aérien, il semble que ce système peut être considéré comme préférable. Il y a lieu, cependant, semble-t-il, de distinguer entre les moteurs qui utilisent ce courant monophasé. C'est le point important de la discussion, parce qu'il ne paraît pas convenable de condenser indéfiniment tout le système monophasé en une seule parole et de le juger comme type général, lorsque des conditions très variées peuvent se présenter pour les divers types de moteurs monophasés. On sait que les différentes maisons de construction se sont réparties le champ de leurs essais, en utilisant les trois types principaux de moteurs monophasés, proprement dits: les moteurs en série, à compensation et à répulsion. Nous savons, qu'avec les premiers il faut adopter des fréquences basses pour avoir une commutation acceptable et qu'il ne faut pas dépasser la fréquence de 25 p : s. Mais, avec les moteurs compensés (type Winter-Eichberg, Latour, etc.), cette condition n'est pas nécessaire, parce que, en effet,* si dans un moteur en série proprement dit, l'on a un vrai champ alternatif, dans un moteur compensé et dans un moteur à répulsion le champ tournant elliptique se transforme, au synchronisme, en un champ tournant pur, ayant la même vitesse de rotation que l'induit; les champs pulsatoires alternatifs disparaissent, et, avec eux, les difficultés de la commutation. *En d'autres termes, nous avons un moteur qui se comporte en marche comme un moteur asynchrone quelconque. Pourquoi donc considérer ce moteur comme inférieur à un moteur triphasé, si, pratiquement, sa marche est parfaite à la vitesse du synchronisme ou près du synchronisme, tandis que nous avons tous les avantages au démarrage et pour la régulation de la vitesse, même la vitesse hypersynchronique, qui ne peuvent pas s'obtenir avec les moteurs triphasés ordinaires?*

Il y a lieu de remarquer que des essais ont été faits, et que d'excel-

lents résultats ont été obtenus, récemment, même avec de simples moteurs à répulsion *à balais mobiles (type Déry). La régulation de la vitesse se produit d'une manière parfaitement graduelle, et sans aucun appareil de transformation ou de régulation; le "controller" est aboli; le déplacement des balais, qui se fait par la manœuvre d'un simple volant, suffit pour obtenir une régulation uniformément progressive, de zéro à la valeur voulue. Sur la ligne de Stanstadt-Engelberg, des essais ont été faits, par la maison Brown-Boveri, avec des résultats satisfaisants. Une autre démonstration intéressante a été faite sur la ligne Waldegg-Lucerne, de la Seethalbahn, avec courant monophasé à 5000 volts appliqué directement aux moteurs. L'année passée, le service a été inauguré sur la ligne Martigny-Orsières qui, plus tard, sera prolongée, par la vallée d'Entremont, jusqu'au Grand Saint-Bernard.*

En Italie aussi, on a fait, très récemment, emploi de ces moteurs sur les tramways urbains *de Parma.*

M. F. Fenzi (Milan). — *M. Vallauri ayant déclaré, hier, que le système triphasé appartient déjà au passé, j'espère que l'on ne m'accusera pas de faire tout-à-fait de l'archéologie si je vous parle du système à courant continu.*

En Italie, en ce qui concerne la traction électrique sur les chemins de fer, on peut dire avec fondement, que le courant continu a été méconnu et négligé pour des raisons sur lesquelles il n'y a pas lieu de s'étendre en ce moment.

En effet, deux installations de traction électrique, l'une à courant continu, l'autre à courant triphasé, furent exécutées presque en même temps, il y a environ dix ans. La ligne équipée en courant continu marcha du premier coup, aussitôt finie, et a toujours marché depuis, sans broncher, et sans la moindre difficulté. La ligne équipée en courant triphasé, au contraire, donna lieu à beaucoup d'ennuis, à ses débuts. Il fallut presque deux ans de plus que prévu pour la mettre au point et la faire marcher d'une manière satisfaisante. Ce résultat a été, incontestablement, le fruit de la persévérance, et surtout de la sympathie inspirée par les personnes qui étaient à la tête de cette affaire, et qui ont trouvé moyen de surmonter toutes les difficultés que présentait le problème de la traction avec un moteur qui est la négation même de ce qu'on appelle traction électrique. Tout le monde se souvient de l'inauguration, déjà retardée, et des trois trains d'inauguration partis de Lecco, et qui durent s'en retourner remorqués par une locomotive

à vapeur, et aussi de la collation préparée à Morbegno pour les invités, mais à laquelle ils ne purent toucher.

Sur la Valteline, on estimait, il y a six ou sept ans, que la consommation moyenne d'énergie électrique, par tonne-kilomètre, était de 40 watts-heures au tableau de la station centrale, tandis que pour la ligne Milan-Varèse l'on avait 45 watts-heures. Comparons les conditions. Sur la Valteline, il n'y a que des sous-stations fixes; l'usine centrale est tout près de la ligne; la vitesse des trains ne dépasse pas 65 km. à l'heure; la différence de niveau entre Lecco et Sondrio est d'environ 80 mètres. Sur la ligne Milan-Varèse-Porto Ceresio il y a des sous-stations contenant des transformateurs, des commutatrices et des accumulateurs; la vitesse des trains est de 80 à 90 km. à l'heure; la différence de niveau entre Milan et Induno dépasse 250 mètres. On voit que, à tout compter, le système à courant alternatif, avec sa simplicité tant vantée, ne donne pas des résultats aussi merveilleux que ceux que l'on aurait pu attendre.

C'est par l'effet d'un sort étrange que la portée et la morale de ces résultats ont été méconnues et tout à fait inversées, en Italie, et que l'on s'y soit déclaré convaincu de l'excellence du système triphasé. A titre d'exemple du procédé de conviction, je puis dire que, dans une publication officielle, l'on avait porté, sur les frais d'entretien du troisième rail, une forte somme qu'il fallut payer pour le renouvellement des connexions en cuivre des rails de la ligne même, lesquelles étaient d'un type mal choisi, que l'on posait en dehors des éclisses qui étaient régulièrement volées, type que l'on aurait dû changer le plus tôt possible, mais que, cependant, on persista à maintenir beaucoup trop longtemps. Nous avons un indice, par ceci, que, contrairement à l'opinion générale, le choix du triphasé, en Italie, n'a pas été absolument basé sur des résultats brillants obtenus en pratique, mais plutôt sur des raisons non-techniques, d'ordre financier, bureaucratique et administratif.

Selon moi — modeste partisan de la traction électrique, et qui le suis un peu par atavisme, la première application pratique en Italie (sur la ligne Florence-Fiesole) ayant été faite par ma famille — les différents systèmes peuvent, en résumé, se classer, selon leurs caractéristiques, de la manière suivante:

Le rendement, presque le même pour les moteurs à courant continu et triphasé, est un peu inférieur pour les moteurs à courant monophasé. Quant au facteur de puissance, le moteur à courant continu est sûrement le premier, n'ayant aucun déphasage de

courant à prévoir, ce qui lui donne, relativement, un facteur de puissance toujours égal à l'unité. *Sous ce rapport, les moteurs des deux autres sortes — monophasé et triphasé — se valent à peu près, pratiquement, sauf durant les démarrages, où le facteur de puissance descend plus bas pour le triphasé que pour le monophasé. Quant au poids, nous avons la comparaison suivante: pour le courant continu, on arrive à 14 Kg. par chev., pour des moteurs à engrenages, à 9 Kg. par chev., pour des moteurs sans engrenages de 550 chev., comme ceux du New York Central Railroad; pour le triphasé, 14 Kg. par chev. pour les moteurs de 750 chev. du Simplon; pour le monophasé, 20 Kg. par chev. pour des moteurs de 200 chev. Quant à l'entrefer, les moteurs à courant alternatif, en général, ne permettent pas qu'il dépasse 2 mm. au maximum, tandis que pour les moteurs à courant continu l'on dépasse souvent 5 mm., et, dans le cas des locomotives du New York Central, on lui a donné même plus d'un centimètre. On vante le moteur triphasé comme évitant le collecteur. Il a bien pourtant trois bagues et des balais. On pourrait bien demander pourquoi l'on se préoccupe à tel point, dans les locomotives triphasées, d'avoir les bagues de contact du rotor facilement accessibles, que, pour pouvoir les mettre à l'*extérieur, *l'on fait* creux *l'arbre du moteur afin d'y mettre les conducteurs reliant ces bagues au rotor. Peut-être que le mystère s'éclaircit un peu lorsque l'on constate qu'il n'est pas rare d'avoir 20 à 30 balais sur chaque bague, soit un total de 60 à 90 balais. Pour le moteur à courant continu, il suffit de 4 ou au maximum de 8 balais dans la plupart des cas. Le moteur monophasé exige plus de balais que le moteur à courant continu, mais, dans tous les cas, moins que le moteur triphasé. Quant aux étincelles au collecteur — qui étaient considérables avec les premiers moteurs monophasés, quoi qu'en disent les constructeurs — elles ont été réduites, par l'adoption rationnelle des pôles auxiliaires, à un minimum, pour les moteurs monophasés, et à rien du tout pratiquement, pour les moteurs à courant continu. Il n'est pas du tout rare, aujord'hui, qu'un moteur à courant continu fasse un parcours total de vingt à trente milles kilomètres sans qu'on doive changer les balais; peut-on bien en dire autant des balais des bagues du moteur triphasé?*

Quant à la perte au démarrage, si l'on pose celle du courant continu comme égale à 1, celle du monophasé sera comprise entre 1,5 et 1,8, et celle du triphasé entre 1,5 et 2.

La constance de vitesse du moteur triphasé a pour conséquence, sur une ligne présentant des pentes variables, comme c'est, d'ailleurs,

le cas sur presque toutes les lignes, un plus grand débit d'énergie à la station centrale, à égalité de poids de trains et de durée des parcours totaux, parce que le moteur en série, qu'il soit monophasé ou à courant continu, est autorégulateur de puissance, marchant plus lentement là où l'effort est plus grand, et plus vite là où l'effort est plus petit; en sorte que, le triphasé, par ce seul fait, dans les conditions normales d'une ligne de montagne, fait débiter à la station génératrice une puissance d'environ 20 pour cent plus grande que pour les autres systèmes.

La double traction est certainement possible avec les moteurs triphasés, mais elle n'est pas si sûre qu'avec les moteurs en série qui répartissent automatiquement la charge entre les deux locomotives. On sait que, sur la ligne des Giovi, l'on a reconnu la nécessité d'un appareil qui permet d'insérer des résistances dans le circuit des rotors dès que l'on effectue la traction double, afin d'égaliser la charge entre les deux locomotives. Dans les expériences faites sur la Valteline, on a trouvé qu'avec trois pour cent de différence entre les diamètres des roues des deux locomotives, la différence de charge répartie sur l'une et l'autre pouvait être de 50 pour cent.

Quant à la ligne de contact, le monophasé est certainement plus simple que le triphasé, comme principe. Dans le cas d'une ligne monophasée, pour augmenter la distance entre les poteaux et pour rendre la ligne plus sûre, l'on a recours à la suspension longitudinale, qui est très intéressante mais qui serait impossible *pour une ligne triphasée, où il faut se contenter de la suspension transversale. En pratique, les lignes des deux systèmes sont presque égales, comme coût, mais bien différentes, sous le rapport de la sûreté et du nombre de poteaux nécessaires.*

Quant au coût de l'énergie, l'avantage du monophasé et du continu sur le triphasé n'est pas discutable. Quant à la récupération réalisable pratiquement, je ne crois pas qu'elle ait, sous le rapport de la réduction de la puissance maxima à fournir par la station centrale, une importance comparable à celle de l'insertion d'une batterie-tampon dans une sous-station à courant continu. Cela sera surtout vrai dans le cas d'une puissance hydraulique constante, laquelle sera, sans aucun doute, beaucoup mieux utilisée avec le système à courant continu qu'avec le triphasé ou le monophasé.

En dernier lieu, je rappelle les difficultés que l'adoption du courant alternatif introduit, sur les grandes lignes, à cause de l'induction produite sur les lignes télégraphiques et téléphoniques

placées le long de la voie. Ainsi, la ligne monophasée du New York, New Haven & Hartford Railroad, dont la tension est de 11000 volts, produit, sur les lignes télégraphiques et téléphoniques qui lui sont parallèles sur un parcours de moins de 60 Km., une induction qui se traduit par une force électromotrice alternative de plusieurs centaines de volts sur ces lignes, c'est-à-dire une force électromotrice beaucoup plus grande que celles qui sont employées normalement pour le fonctionnement de ces lignes. Dans ces conditions, on ne peut plus faire le retour par la terre, comme d'ordinaire, pour les lignes télégraphiques et, quant aux lignes téléphoniques, il a fallu imaginer et utiliser des moyens et des dispositifs tout-à-fait spéciaux pour pouvoir s'en servir.

Je termine en exprimant ma conviction que l'on aurait mieux fait en Italie, d'adopter pour le Simplon et les Giovi le système à courant continu, même à troisième rail et à la tension de 700 volts, comme il aurait été justifié de le faire, d'après les résultats pratiques obtenus dans notre pays. Pour l'équipement des grandes lignes, je préconise l'adoption du courant continu à 2500 volts, à ligne de contact aérienne, qui est pratiquement réalisable aujourd'hui, et qui permet des sous-stations (munies de batteries tampons) éloignées de 40 à 50 Km. entre elles, alimentées par une ligne de transmission triphasée à très haute tension. De cette manière le réseau triphasé alimentateur n'a à fournir que la puissance moyenne, puisqu'il n'y aura pas sur ce réseau de répercussions du diagramme de charge, si inconstant, qui caractérise le travail de traction. Le réseau alimentateur peut avoir une forme quelconque. Il pourrait très bien être celui servant pour l'éclairage et la distribution de la force motrice, et qui s'étend rapidement sur nos régions comme une toile d'araignée. Le fait que ces réseaux s'enchaînent les uns avec les autres et que, souvent, plusieurs stations centrales alimentent les mêmes réseaux, est une bonne garantie pour la sécurité du service. Avec les systèmes monophasé et triphasé, les sous-stations ne pouvant pas être reliées à aucun réseau général de distribution d'énergie électrique à cause des grandes oscillations de charge (non égalisées par batteries-tampons) et à cause de leur fréquence trop basse, il faut nécessairement avoir des stations génératrices et des lignes de transmission spéciales. Cette dualité d'installation est assurément au détriment de l'économie nationale. On sait que l'État s'est réservé d'importantes chûtes hydrauliques pour une électrification qui se fera on ne sait quand. Or, l'utilisation immédiate de cette force augmenterait certainement les ressources et la

richesse du pays. C'est seulement par amour pour mon pays et pour le triomphe de la vérité et du progrès que j'ai pris la parole dans cette discussion. Il est peut-être présomptueux de ma part de vous avoir parlé avec tant de candeur et de conviction, vu que je n'ai pas l'expérience du constructeur ou les connaissances profondes de l'homme de science. Si j'ai besoin d'excuse, il suffira, je l'espère, de remarquer que, souvent, l'observateur désintéressé et dégagé de toutes affiliations, et de toute contrainte et de tout parti pris, peut voir un peu plus loin et un peu plus clair que ceux qui n'ont pas ces avantages.

M. H. Beckmann (Berlin). — *M. le Président avait fait quelques observations sur la situation en Amérique. L'orateur avait jugé à propos d'ajouter quelques exemples concernant les lignes américaines. Il n'avait cependant pas l'intention d'entrer plus loin dans la discussion; mais vu qu'il a été critiqué d'une façon si sévère et personnelle par M. Eichel, il croit devoir répondre aux objections de celui-ci. Il évitera autant que possible de suivre M. Eichel sur le terrain des personnalités, et il se bornera à répondre directement à ses critiques. Il se permet cependant de remarquer qu'il est tout de même singulier que M. Eichel lui reproche d'avoir puisé dans les journaux ses renseignements concernant les conditions en Amérique, alors que M. Eichel est lui-même rédacteur d'un journal électrotechnique.*

Il admet que les lignes qu'il a mentionnées ne peuvent pas être considérées comme étant exclusivement et purement des lignes à courant alternatif; elles utilisaient le continu pour un petit parcours dans les villes, et le courant alternatif pour un long parcours interurbain. Mais, justement, cette circonstance, que les compagnies — après avoir eu l'opportunité de faire connaissance avec les deux systèmes, par la pratique — ont pris, toutes les trois, non pas le courant alternatif, mais le courant continu, démontre très bien que, par suite de l'expérience pratique, elles n'avaient évidemment pas confiance dans le monophasé, et que, d'autre part, elles étaient satisfaites de leur expérience avec le courant continu.

M. Eichel a rappelé le cas de la ligne de Baltimore-Washington-Annapolis comme si, dès le début, le système trop compliqué n'eût pas dû être jugé convenable, ce qui aurait finalement donné occasion de choisir le courant continu. Cette manière de voir n'est cependant pas juste; la substitution du courant continu s'est faite parce que la compagnie voulait faire circuler ses voitures plus loin à l'intérieur de la ville, ce qui n'était pas pratique avec les

voitures lourdes du système monophasé. Ce problème, qui n'était pas du tout soluble avec le monophasé, se laissa résoudre d'emblée, du moment que le monophasé fut abandonné et que le continu pur et simple fut adopté. Les voitures monophasées pesaient 60 tonnes et leur poids ne pouvait en aucune manière être amoindri matériellement, tandis que les voitures à courant continu ne pesaient que 40 tonnes et pouvaient, sans objection, circuler en ville. Le poids lourd du matériel roulant est reconnu comme étant, en général, l'un des désavantages les plus sérieux du système monophasé. Ainsi, Hobart calcule que l'équipement pèse 40 kg. par chev. pour le monophasé, et seulement 20 kg. par chev. pour le continu. Il est clair qu'en conséquence, pour un trafic dense, tel qu'il est précisément sur les lignes urbaines et interurbaines, les frais généraux et les frais d'entrétien seront élevés, non seulement pour le matériel roulant lui-même mais aussi pour la voie.

M. Eichel a tenté d'affaiblir la portée des données relatives à la transformation des trois lignes, en parlant de ces lignes comme s'il ne s'agissait que de petites lignes secondaires, de caractère analogue à celui des tramways. Comme réponse sur ce point, notons que la ligne Washington-Baltimore-Annapolis a 155 km. de parcours, sur lequel les voitures lourdes déjà mentionnées font le service; elle peut, sous tous rapports, être considérée comme une " grande ligne „. Les trois lignes de Milwaukee, qui ont été transformées en lignes à courant continu, ont un parcours total de 109 km. de voie. La ligne nouvelle, en voie d'équipement par la Société Westinghouse, aura 200 km. Ces lignes, et beaucoup d'autres lignes américaines à courant continu en construction, ont des parcours matériellement plus longs que les " grandes lignes „ équipées jusqu'à présent en Europe.

Il semble étrange que, en contredisant ses observations, M. Eichel ne se soit pas étendu sur ce qu'il avait également dit à propos des résultats accessibles en Allemagne, concernant les lignes Berlin-Grosslichterfelde et Hambourg-Ohlsdorf. D'après ces données, on voit clairement que l'exploitation de la ligne monophasée moderne coûte 42 pour cent plus cher que celle de la ligne à courant continu surannée de Berlin-Grosslichterfelde. Afin de voir si, dans le cas des lignes américaines, il s'agit, comme M. Eichel en a fait le reproche et ainsi qu'il le prétend, d'un phénomène sporadique, ou bien s'il s'agit d'un renversement fondamental d'opinion dans le monde technique américain, il suffit de demander combien de lignes, en Amérique, durant les deux dernières années, soit depuis le com-

mencement de l'année 1909, ont été equipées avec les différents systèmes. L'orateur avait à sa disposition pour répondre à cette question, une compilation très soigneuse et très complète faite par M. l'Ingénieur Civil O. C. Roedder, de Karlsruhe, sur les grandes lignes électriques, d'où il a retiré des données très intéressantes. M. Roedder a eu la bonté de lui confirmer ces chiffres, par télégraphe, en lui permettant d'en faire usage. D'après ces données il a été construit en Amérique, durant les deux dernières années, 26 lignes à courant continu, ayant une étendue totale de 1600 km., et seulement trois lignes à courant alternatif, ayant un total de 332 km. de voie. Ces chiffres démontrent d'une manière frappante qu'en Amérique, où précisément l'on tenta, au commencement, d'introduire le monophasé très généralement, l'on s'est adonné, durant les deux dernières années, presque exclusivement au continu. S'il en est ainsi, la conclusion exprimée est justifiée; et il y a lieu pour nous ici, en Europe, de considérer de nouveau, si, en vue de cette nouvelle expérience américaine, il est rationnel de préconiser exclusivement un système, le monophasé, ou s'il n'est pas mieux, comme font les Américains — qui ont devant eux une expérience bien plus grande que nous en Europe — d'employer exclusivement le courant continu pour les lignes urbaines et interurbaines à trafic intense.

M. EUGEN EICHEL (Berlin) *regrette le caractère personnel de la discussion que le Dr. Beckmann désirait éviter, tout en y revenant lui-même, en prononçant son nom à toutes les cinq phrases.*

En réalité, les observations présentées aujourd'hui, au sujet de la pratique en Amérique, n'offrent rien de nouveau en comparaison de celles présentées antérieurement.

Il faut bien apprendre à distinguer entre deux sortes de choses; les lignes urbaines et interurbaines, avec leurs conditions de service variées, telles qu'on les trouve en Amérique: et les grandes lignes électriques.

Puisque le Dr. Beckmann s'en rapporte de nouveau à l'autorité de M. Roedder, il y a lieu de remarquer que M. Roedder n'est pas un spécialiste en la question des transports, mais que le livre mentionné donne une compilation habilement faite de données publiées dans la presse technique, et de renseignements fournis, en général, par les maisons d'électricité américaines. Une compilation de ce genre peut bien, en certaines circonstances, rendre de bons services à ceux qui sont en pleine connaissance de cause. Si, cependant, elle est employée mal à propos, elle peut être aussi

dangereuse pour ceux qui s'en servent que l'emploi, sans vérifications, de certaines statistiques.

Les Américains ont beaucoup de goût pour la statistique, mais ils connaissent très bien son côté faible, et ils la caractérisent euxmêmes de la manière suivante: " There are lies, damned lies, and statistics ". *Il y a des mensonges, des maudits mensonges, et des statistiques.*

Lorsque l'on juge seulement d'après le nombre et le parcours des lignes, on peut se méprendre fortement sur l'importance des entreprises considérées individuellement.

Si, par exemple, on examine les statistiques américaines de 1909-10 concernant le nombre de lignes urbaines et interurbaines équipées avec le courant continu, on trouve que le nombre de voitures a diminué dans plusieurs cas d'une façon extraordinaire; si l'on considérait cette donnée absolument correcte, sans égard aux circonstances, on croirait que les lignes à courant continu sont en décadence, puisque leur nombre de voitures diminue nettement. En réalité, cependant, la réduction du nombre de voitures n'indique nul en arrière, mais s'explique par ce fait que le besoin de meilleurs moyens de transport se fait de plus en plus sentir, et que les lignes sont contraintes de se défaire d'un grand nombre de petites voitures arriérées à deux essieus, de capacité insuffisante, et de les remplacer par un nombre de voitures plus lourdes, à quatre essieus, et de plus grande capacité.

En conséquence de la plus grande capacité des voitures nouvelles il est possible d'en diminuer le nombre. Il en est de même des longueurs de voie. On redresse souvent la voie dans le but de pouvoir marcher plus vite et avec moins d'énergie. La longueur de voie est ainsi avantageusement diminuée. Ce raccourcissement de la voie peut sembler remarquable à ceux qui ne sont pas renseignés.

M. H. BECKMANN (Berlin). — *Au sujet des remarques qui viennent d'être faites, ne voulant pas prendre le temps nécessaire pour entrer plus profondément dans la discussion, il se bornera seulement à faire une observation à propos de M. Roedder, lequel, selon ce que M. Eichel affirme, ne peut pas lui, non plus, juger des conditions en Amérique. M. Roedder est resté plusieurs années aux États-Unis comme ingénieur employé par le gouvernement, et, comme tel, a dû précisément s'occuper beaucoup des lignes électriques en Amérique. Il n'est pas du tout admissible que M. Eichel condamne tout simplement la connaissance des conditions en Amérique de ce monsieur, de la manière qu'il vient de le faire.*

M. KALMAN VON KANDO (Vado Ligure). — *Messieurs ! Je n'ai que très peu à ajouter à la discussion. Je veux seulement corriger une erreur, qui s'est glissée dans la discussion. Le rôle que l'Italie a joué, et joue actuellement, dans l'histoire du développement de la traction électrique, a été mis sous un faux jour. D'un côté, nous entendons dire, avec une indulgence un peu affectée, que, lors de l'électrification de la Valteline, on n'a pas eu d'autre choix, pour l'application de la haute tension, que le système triphasé; donc l'erreur commise était excusable; tandis que l'application du même système, aujourd'hui, n'est qu'un conservatisme inexcusable. D'un autre côté, nous avons entendu aussi critiquer la décision prise par l'Administration italienne, il y a 5 ans, de ne pas avoir choisi le système à courant continu pour l'électrification des Giovi. Les deux observations procèdent de la même erreur, consistant à croire que l'Italie voulait* choisir un système *par caprice ou par sympathie. Le problème posé il y a 13 ans, comme M. Donati l'a justement observé, était de* faire un essai d'application de la haute tension *à la traction électrique. La réussite de la ligne de la Valteline a ouvert une nouvelle perspective pour l'électrification économique des grandes lignes, car l'application du système à courant continu, dans la plupart des cas d'électrification des grandes lignes européennes, était prohibitive en raison des grands frais d'installation. On a choisi le système triphasé parce que les moteurs triphasés, à cette époque là, étaient déjà suffisamment développés, pour permettre une application avec succès. J'admets que si les moteurs monophasés eussent été, en ce temps, perfectionnés comme il le sont aujourd'hui, on les aurait probablement choisis. Mais il est douteux que cela eût été favorable à l'intérêt général de la traction électrique, car il est possible que le système triphasé n'aurait pas eu occasion de démontrer ses nombreuses et grandes qualités.*

Pour l'histoire du développement du système triphasé, il est caractéristique qu'il a non seulement tenu ses promesses, mais qu'il a réservé des surprises agréables à ses partisans, telles, par exemple, que la facilité de la double traction. On ne pourrait pas affirmer la même chose du système monophasé. Il y avait des promesses brillantes, et il y a eu de grandes désillusions. Croyez que je parle sans intention des insuccès des autres, car je maintiens que même les insuccès de ceux qui travaillent avec foi sont dignes de notre respect. Si je cite l'article publié par M. Eichberg, il y a quelques années, dans le " Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure ,, dans lequel il a publié les données caractéristiques de quelques

projets de locomotive monophasée, ce n'est pas par manque d'appréciation de son éminent travail, mais, uniquement, parce que je considère comme mon devoir d'attirer votre attention sur la différence existant entre les promesses faites (j'admets, de bonne foi) et les résultats pratiques obtenus par la suite. M. Eichberg, il y a quelques années, espérait pouvoir construire des locomotives de 2000 chevaux avec des moteurs sans engrenages avec un poids total de 60 tonnes, donc avec une puissance de 33 chevaux par tonne. Ses locomotives les plus récentes arrivent à peine à la moitié de ce chiffre.

N'oublions pas que la décision des Commissions d'études allemande et suisse, en faveur du monophasé, datent d'une époque où l'on était encore sous l'impression créée par les promesses de M. Eichberg, et où l'on ne disposait pas encore des données numériques exactes indispensables pour un examen approfondi. On voit à quel point les éléments nécessaires manquaient à ces commissions par ce fait, que la décision de la Commission suisse était motivée, entre autres, par la supposition que la récupération, pour des raisons de sûreté, n'est pas admissible.

Il est loin de ma pensée de vouloir manquer de déférence aux illustres membres de ces Commissions, mais je veux constater qu'à l'époque où ces Commissions ont dû prononcer un jugement sur une question si compliquée, il leur manquait encore beaucoup de renseignements d'importance capitale. D'un côté, elles ne connaissaient pas ce qu'on pouvait attendre du triphasé; et, d'un autre côté, les plus éminents ingénieurs se faisaient des illusions concernant les points les plus importants du système monophasé.

Le but de mes remarques est de protester contre la tendance à la suppression d'un système en faveur de l'autre, tendance qui est, en même temps, dangereuse et nuisible à nos intérêts communs.

M. EUGEN EICHEL (Berlin). — *M. von Kando a dit que les locomotives monophasées sont nécessairement plus lourdes que les locomotives triphasées.*

Il ne lui semble pas que le moment soit encore venu de se prononcer sur la valeur de l'un ou de l'autre des éléments qui contribuent au succès d'ensemble d'un système complet de traction.

Il n'a pas pris la parole pour discuter davantage la question de l'électrification par le triphasé et le monophasé. Il se sent plutôt disposé à exprimer les pensées, qu'il a retrouvées chez tous ceux qui ont visité l'installation des Giovi. Cette pensée est toute de gratitude pour la grande bienveillance qui nous a ménagé l'oc-

casion de voir la construction et l'exploitation de la ligne Giovi; c'est aussi la sympathie joyeuse de l'ingénieur praticien en voyant la solution d'un problème technique difficile; et des félicitations à tous les ingénieurs qui y ont pris part.

L'Administration des chemins de fer italiens a considéré que, pour ce service présentant des conditions toutes spéciales, le transport électrique par locomotives triphasées remplissait le but, et nous saluons cette électrification, dans l'intérêt de l'électrotechnique, comme étant une des grandes pierres de notre édifice futur: "l'électrification des grandes lignes,,.

M. A. Donati (Rome) *désire présenter une proposition à la Section. Il estime qu'il faut reconnaître que chaque système peut avoir sa raison d'être, et son champ d'applications, selon les cas. Il croit qu'il serait utile que la Ve Section se prononçât dans ce sens. A cet effet, il demande à la Section d'approuver, par un vote, comme conclusion de la discussion générale, la motion suivante:*

" Attendu qu'il faut, dans chaque cas, employer le système de " traction électrique qui répond le mieux aux conditions financières " et techniques du service de la ligne correspondante, il n'est pas " jugé possible de donner la préférence à un seul type de traction " électrique pour toutes les lignes de chemin de fer,,.

M. Riccardo Vallauri (Berlin). — *Il me semble qu'une affirmation, présentée en la forme de l'ordre du jour qu'on nous invite à voter, s'éloigne un peu trop des arguments qui relèvent de notre compétence.*

Nous sommes ici pour examiner et discuter le problème électrotechnique *de la traction électrique appliquée aux chemins de fer, et les diverses solutions de ce problème ont été exposées et préconisées devant nous par des ingénieurs d'origines et de tendances très variées.*

Mais l'électrotechnique n'a rien à voir avec une question d'exploitation *telle que celle visée par l'ordre du jour dont il s'agit. La plupart des techniciens présents — moi, tout le premier — ne se trouvent pas dans les meilleures conditions de préparation pour se prononcer sur l'importance que peut avoir, soit à l'égard du plus ou moins de complexité du service, soit au point de vue de son prix de revient, l'adoption d'un système unique de traction sur tout un réseau, ou d'une application fractionnée. Cette question compliquée relève uniquement de ceux qui ont pour fonction de s'occuper de l'exploitation des chemins de fer; elle a été amplement discutée au Congrès International de Berne. C'était là sa place naturelle;*

il ne me semble ni nécessaire ni même opportun que nous, électrotechniciens, nous nous donnions la satisfaction de nous prononcer de but en blanc dans un champ qui n'est pas précisément le nôtre. Je dis " de but en blanc ,,, car il suffit de se rappeler les phases diverses de la discussion qui a eu lieu dans cette salle, pour reconnaître que la question dont je m'occupe n'y a pénétré qu'à la dérobeé, introduite seulement par quelques orateurs isolés. Je ne me fais pas d'illusions sur l'efficacité de mes remarques; je sais parfaitement qu'il n'y a pas de besogne plus ingrate et plus inutile que celle de qui veut convaincre un autre de son incompétence; je vous laisse à penser ce que c'est quand il s'agit d'une assemblée.

M. G. L'HOEST (Bruxelles). — *Je ne pense pas qu'il faille réserver à un Congrès de Chemins de fer, l'examen du système convenant à la traction électrique sur les grandes voies ferrées. Je crois, au contraire, que la question intéresse les deux catégories du Congrès, et que les spécialistes des chemins de fer désireront connaître l'avis des électriciens lorsque la question viendra à l'ordre du jour de leurs réunions.*

Je fais remarquer, incidemment, que la conclusion très sage proposée par M. Donati est parfaitement en accord avec celles qui ont été prises, sur le même sujet, par le Congrès des chemins de fer tenu à Berne l'année dernière.

La proposition de M. Donati, appuyée par plusieurs membres et mise aux voix, est adoptée à l'unanimité. Il est décidé aussi par un vote unanime de la Section, que cette opinion devra être citée dans le rapport des travaux de la Ve Section à présenter à la Séance de clôture du Congrès.

M. C. O. MAILLOUX (New York), Président. — *L'animation et l'intérêt soutenu de la discussion, jusqu'au moment même où nous devons la clôturer, indique assez clairement qu'elle pourrait continuer encore longtemps avec profit. Nous allons donc la considérer non pas comme close, mais seulement ajournée à une prochaine occasion.*

Le but général de toute discussion est le libre échange et la dissémination des idées et des renseignements relatifs aux principes et méthodes qui marquent le progrès et qui l'activent. Le progrès que nous voulons tous activer, et accélérer, concerne la traction électrique. Nous nous sommes occupés, en somme, de l'avenir et de la destinée de la traction électrique.

J'ose dire, messieurs, et je crois que tous ceux qui trouvent intérêt aux travaux de cette section du Congrès doivent le sentir et

le réaliser aussi bien que moi, qu'il n'y a à ce Congrès aucune question qui ait autant d'actualité et présente autant d'intérêt, à tous les points de vue, que celle de la traction électrique. Tout le monde reconnaît le rôle prépondérant que le chemin de fer, l'art du transport en gros et rapide, ont joué dans la grande évolution industrielle et commerciale, dans la transformation complète et radicale de la civilisation dont le XIXe siècle s'enorgueillit. Le XXe siècle a la mission de faire mieux *et* plus *que son prédécesseur, et la traction électrique lui sera, sans le moindre doute, aussi utile que le fut la traction à vapeur à son prédécesseur. Donc, en contribuant par nos efforts au progrès de la traction électrique, nous contribuons directement au progrès de la civilisation elle-même. C'est pour cela que j'attache une si grande importance aux travaux de cette section.*

Note sulla trazione elettrica a corrente continua ad alta tensione.

Ing. GUGLIELMO GYÀROS (Budapest)

Nei primi tempi della trazione elettrica sulle ferrovie, questa non si faceva che colla corrente continua. Però la trazione elettrica per molti anni restava limitata alle tramvie cittadine, o a casi di condizioni analoghe, dove cioè le distanze erano relativamente piccole, e dove, per la grande frequenza del traffico, il costo del materiale mobile prevaleva sopra quello della distribuzione secondaria, indicando con questo termine il complesso delle sottostazioni e dei conduttori di contatto e di alimentazione secondaria. Dove le distanze diventavano maggiori e la frequenza del servizio minore, la situazione diventava poco favorevole per la trazione elettrica, e occorreva considerare esattamente se tutti i vantaggi offerti dalla trazione elettrica, cioè: risparmio di energia, di personale, la pulizia, la mancanza di fumo, specialmente in gallerie ed in contrade abitate, ecc., controbilanciavano il rilevante maggior costo dell'impianto di fronte a quello della trazione a vapore. Per condizioni più sfavorevoli ancora, dove si trattava del trasporto di treni pesanti a grandi intervalli sopra linee di grande lunghezza e possibilmente con grandi salite, la trazione elettrica pareva impossibile, causa il costo proibitivo del sistema di distribuzione secondaria.

Per servizi ferroviari del carattere sfavorevole sopra descritto, occorrevano maggiori voltaggi sulla linea di contatto per diminuire il costo di conduttori e delle sottostazioni, e ciò colla corrente continua per lungo tempo non era possibile.

Adoperare tensioni oltre i 600 volt pareva arrischiato. E

perciò si pensò alle correnti alternate, colle quali si erano già ottenuti splendidi risultati di trasmissione d'energia elettrica a grandi distanze. Le prime ferrovie a correnti alternate furono a corrente trifase, specialmente quelle delle linee Burgdorf-Thun e della Valtellina. Il successo però di questi impianti non riuscì a convincere gli ingegneri degli altri paesi, i quali ebbero a criticare sopratutto la complicazione prodotta dai due fili di contatto, critica questa, che, se non è senza fondamento, è pure non poco esagerata. Per l'antipatia ai due fili di contatto sorse il sistema di trazione elettrica a corrente monofase, e benchè questo sistema abbia incontrato grandissime difficoltà nella costruzione di motori soddisfacenti, queste difficoltà si stanno gradatamente superando, ed il sistema ha già guadagnato finora la preferenza sopra il sistema trifase presso i tecnici ferroviari di molti, se non di tutti i paesi del mondo.

Il sistema a corrente continua, da lungo tempo quasi escluso da questa competizione, da qualche anno in qua cerca di riguadagnare il terreno perduto e di farsi valere anche fra condizioni dove finora solo la corrente alternata pareva offrire una soluzione favorevole. L' impulso a questo fu dato dall'applicazione di una vecchia invenzione mezzo dimenticata, di cui l'utilità ad un tratto fu generalmente riconosciuta: e cioè i poli ausiliari. Questa invenzione permette l'impiego di tensioni ai fili di contatto molto più alte di finora, tensioni che prima si consideravano arrischiate, inadatte ad un servizio pratico.

Le prime ferrovie a corrente continua che fecero uso dei poli ausiliari nel macchinario elettrico, ed in ispecie nei motori, furono: in Europa, nel 1906 la Ferrovia Köln-Bonn, con 990 volt sui fili di contatto, ed, in America, nel 1907 la linea Indianapolis-Louisville, con 1200 volt.

L'esperienze delle ferrovie suddette e delle altre che seguirono, dettero risultati molto favorevoli, e confermando il progresso fatto, dimostrano due cose importantissime. Una, che coi poli ausiliari la questione della commutazione dei motori a corrente continua si può considerare risolta, a tal segno, che ora il commutatore non richiede maggior cura e manutenzione, che non, p. es., gli anelli di contatto di un motore asincrono. Il consumo della superficie dei commutatori di tali motori già dopo parecchi anni non è sensibile, i carboni delle spazzole durano — secondo i casi — dai 200.000 a oltre 1.500.000 motori-chilometri, il temuto " flash-over „ o cortocircuito fra spazzole quasi

non succede più, per cui il motore potrà impunemente subire un sovracarico momentaneo di oltre 100 °/₀, invece del 50 °/₀ che segnava il limite per un motore comune, appunto per il pericolo dell'arco fra spazzole. Insomma, il carico del motore è praticamente limitato solo dalle condizioni di riscaldamento; per il resto il motore è diventato una macchina quasi indistruttibile che richiede pochissima cura, e che può con grande sicurezza sopportare gli incerti del più duro servizio ferroviario.

L'altra conclusione delle esperienze è, che il limite della tensione alle spazzole, e quindi ai fili di contatto, non è ancora raggiunto, e col graduale aumento del voltaggio della distribuzione secondaria è dato modo al sistema a corrente continua di ridiventare un forte concorrente degli altri sistemi, in ispecie del sistema monofase, rispetto al quale presenta grandi vantaggi nella manutenzione e nel peso degli arredamenti del materiale rotabile. Un campo specialmente è destinato ad essere rapidamente riconquistato dalla corrente continua, ed è il campo delle linee interurbane con entrata nelle città di testa; qui, infatti, esse possono usufruire le linee delle tramvie cittadine, poichè le vetture interurbane possono con leggiera modificazione essere azionate anche dalla corrente a più bassa tensione della città. Così, in America in alcuni casi questa riconquista si è già fatta in modo più decisivo, e cioè, abolendo del tutto gli impianti relativamente nuovi già esistenti a corrente alternata e sostituendovi il sistema a corrente continua a 1200 volt.

Una recente pubblicazione nell' " Electric Railway Journal „ dà, riguardo a una di queste, la Washington-Baltimore-Annapolis-Ry, i risultati del cambiamento oltremodo vantaggiosi tanto dal punto di vista delle spese di corrente e di manutenzione, quanto da quello della sicurezza dell'esercizio.

Il consumo di corrente, principalmente per il minore peso delle nuove vetture automotrici facenti il medesimo servizio, è diminuito del 35 °/₀ circa (da 18,4 centesimi a 11,8 centesimi per vettura-chilometro); la manutenzione dell'apparecchiatura elettrica delle automotrici è scesa del 35 °/₀ circa (da cent. 1,15 a 0,75 per vettura-chilometro); il personale dell'officina di riparazione fu diminuito da 60 a 25 persone; le perdite di tempo per causa elettrica nelle corse erano scese dell' 84,4 °/₀ (da 1772 minuti a 277 minuti, nel febbraio 1911).

Queste cifre si riferiscono a un caso che è forse troppo sfa-

vorevole al sistema monofase, e perciò non possono essere assunte in via generale. Però, esse sono molto interessanti, perchè indicano chiaramente quei punti nei quali il sistema a corrente continua ad alta tensione si trova superiore al sistema monofase, e cioè nella manutenzione, nella sicurezza dell'esercizio, e nel peso della parte elettrica delle vetture, in ispecie dei motori, dal quale risparmio di peso può poi, secondo i casi, risultare o no un rilevante risparmio di energia elettrica.

Se confrontiamo il risparmio derivante da tutti questi vantaggi con quello raggiungibile col sistema monofase, salendo a più elevati voltaggi di linea, troviamo che il voltaggio del sistema monofase deve essere molto maggiore di quello del sistema a corrente continua, affinchè i risultati economici complessivi si equivalgano. E per dare un' idea del rapporto fra i due voltaggi si potrebbe dire, che secondo lo stato presente di questo ramo della tecnica, per una linea interurbana, di lunghezza media, a binario semplice, questo rapporto sarebbe fra 5 e 6, cioè la corrente continua a 1000 volt, p. es., potrebbe concorrere colla corrente alternata fino a 5000 o 6000 volt sui fili di contatto. Questa, naturalmente, non è che un'approssimazione grossolana, e nei singoli casi si potranno trovare risultati molto diversi. La cifra non mira che ad indicare il valore di un aumento relativamente piccolo nella tensione della corrente continua, e ad indicare anche fino a che punto la corrente continua può sperare di fare concorrenza al sistema monofase. L'evoluzione dei due sistemi contendenti non è ancora compiuta, ed è specialmente indeterminato fino a quale voltaggio la tensione della corrente continua si potrà aumentare. Ma dai risultati finora ottenuti non pare escluso un aumento fino ai 2500 o 3000 volt, e questo voltaggio, se le spese di esercizio non peggiorano, potrebbe bastare a competere col sistema monofase fino a 15.000 volt e oltre.

Dopo queste considerazioni di indole generale desidererei brevemente descrivere i progressi fatti di recente dalla trazione a corrente continua in Ungheria, ed, in parte, anche in Austria, per mezzo della ditta Ganz, la quale, dopo aver preso una parte importante nella soluzione del problema della ferrovia elettrica colle costruzioni della Valtellina, ora si è dedicata anche alla trazione elettrica a corrente continua ad alta tensione. Su questa attività della Ditta Ganz non furono finora pubblicati particolari.

Le seguenti linee si stanno elettrificando, o sono, in parte, già elettrificate, per cura della Ditta Ganz:

1) Budapest-Dunaharaszti, di 16,5 chilometri, doppio binario, scartamento normale;

2) Budapest-Kerepes-Gödöllö, di 33 chilometri, doppio binario, scartamento normale;

3) Budapest-Szt. Endre, di 16 chilometri, doppio binario, scartamento normale.

Queste tre linee appartengono alla medesima Società delle Ferrovie Locali di Budapest (Budapesti Helyi Érdekü Vasutak R. T.); la lunghezza complessiva dei binari ammonta a circa 160 chilometri. Tensione di linea 1000 volt; della linea Budapest-Dunaharaszti 6 chilom. sono a 600 volt;

4) Bozen-Kaltern-St. Anton (Ueberetscherbahn) di 17,5 chm., semplice binario, scartamento normale, tensione di linea 1200 volt.

5) Arad-Hegyalja (Arad-Gyorok-Pankota-Radna) di 58,3 chilometri, semplice binario, scartamento di 1 metro. Tensione di linea 1500 volt.

Di queste linee le prime tre hanno apparecchiatura analoga. La prima delle tre è in esercizio dal 4 agosto 1910, la seconda — fino a Czinkota, una distanza di 11 chilometri da Budapest — dal 6 aprile 1911, la terza sarà in esercizio l'anno venturo.

La Ditta Ganz ha fornito per queste linee il macchinario elettrico delle stazioni centrali e sottostazioni, nonchè l'apparecchiatura elettrica del materiale rotabile. I quadri di distribuzione delle stazioni centrali e delle sottostazioni furono affidati alla Società Ungherese di Elettricità " Unione „ (Unio Magyar Villamossági R. T.) e l'apparecchiatura delle linee di trasmissione e di contatto, nonchè la parte meccanica del materiale mobile, vengono fornite dalla Società per il Corredamento di Ferrovie e di Macchine (Gép- és vasutfelszerelési gyár R. T.) di Budapest.

Il materiale rotabile per queste tre linee comprende:

12 locomotive elettriche a due assi, per il servizio merci, ognuna a due motori da 150 cavalli ciascuno, con comando multiplo (contactors);

38 vetture automotrici per passeggeri a due assi, a 40 posti seduti, ciascuna con due motori a comando multiplo; 18 delle vetture hanno motori da 105 cavalli, 20 ne hanno da 75 cavalli;

50 vetture automotrici per passeggeri a due assi, a 40 posti seduti, ciascuna a due motori da 75 cavalli, con comando a controller a mano.

Inoltre ci sono finora 88 vetture di rimorchio per passeggeri.

Per la " Ueberetscherbahn „ tutta l'apparecchiatura fu fornita dalla Ditta Ganz, inclusa anche la linea; questa comprende una sottostazione di trasformazione nel centro della linea, che riceve l'energia elettrica dalle " Etschwerke „ (Impianti dell'Adige), e 4 vetture automotrici a due assi, a due motori da 85 cavalli ciascuno, con comando multiplo simile a quello delle vetture analoghe delle linee precedenti.

L'apparecchiatura per la Arad-Hegyalja è in fabbricazione. Questa comprende, oltre la sottostazione unica e le condutture della linea, 13 vetture automotrici a 4 assi, a 4 motori da 55 cavalli ciascuno, e a comando multiplo.

I risultati d'esercizio ottenuti sulla linea Budapest-Dunaharaszti, in esercizio ormai da più d'un anno, sono oltremodo soddisfacenti, e confermano un'altra volta le buone qualità del sistema a corrente continua. L'esercizio fu iniziato con 12 vetture a controller a mano. Questi controller sono tuttora in così buono stato, che non fu ancora necessario cambiare i pezzi di contatto di uno solo, benchè il servizio fatto in un anno da una di queste vetture vari fra i 45.000 ed i 65.000 chilometri, e le vetture rimorchino, secondo il bisogno, treni fino a 38 tonnellate, su salite fino a 30 $^0/_{00}$, e in livello, alla velocità di 50 chilometri all'ora. Il controller ha dimensioni in giusta proporzione colla tensione d'esercizio, e pesa 250 chilogrammi.

Le locomotive sono in servizio da troppo poco tempo da poterne dedurre cifre di manutenzione, ma le esperienze finora sono molto soddisfacenti. Il comando multiplo in uso su queste locomotive consiste in 11 " contactors „ o inseritori elettromagnetici, i quali vengono attuati con corrente di 80 volt, prodotta da piccole macchine convertitrici, e comandati da " mastercontrollers „, sulle due estremità della locomotiva.

Tutte le vetture e locomotive sono munite del medesimo apparecchio di presa di corrente a tipo pantografo, con archetto di alluminio. Il consumo di questi archetti è molto basso; sulla linea Budapest-Czinkota gli archetti non furono cambiati da tre mesi, ed anzi si prevede una durata di almeno un altro mese prima che sia necessario cambiarli. Questo corrisponderà ad una durata di circa 20.000 vetture-chilometri. Occorre però menzionare le circostanze favorevoli che permisero di ottenere questo risultato, e cioè: sospensione a catenaria dei fili di contatto, bassa pressione sugli archetti (fra i 2 e i 2,5 chilogr.), fili

di contatto nuovi. Su la linea Budapest-Dunaharaszti, dove la sezione a 600 volt è munita di sospensione trasversale del tipo comune, e dove prima archetti di ottone furono usati per lungo tempo, gli archetti di alluminio hanno una durata molto minore.

Il tipo della sospensione a catenaria usato su questa linea, merita anche alcune parole. È una sospensione a compensazione automatica delle deformazioni termiche del filo di contatto mediante ormeggi a pesi disposti a circa 1000 o 1200 metri fra loro, ma coll'omissione del filo di guida adoperato (oltre la catenaria) in altre costruzioni analoghe. L'idea fondamentale è di sopportare il filo di contatto mediante morsetti sospesi direttamente sulla catenaria, ma in maniera da permettere lo scorrere del filo di contatto entro il morsetto. A questo scopo il morsetto non stringe il filo di contatto, ma lo sostiene in modo di guida scorrevole, e, per essere ancorato rispetto ai movimenti del filo di contatto, è tenuto sospeso da due fili disposti a forma di V, invece che da un filo verticale. Il sistema diventa oltremodo semplice, poco costoso e permette un montaggio molto facile e rapido. Questo sistema di sospensione catenaria, che ha dato ottimi risultati sulle linee delle Ferrovie Locali di Budapest, è invenzione dei signori ingegneri Marcello Jellinek, Direttore della Ditta che ha fornito le vetture e l'apparecchiatura di linea, e Giulio Fischer di Tóváros, capo-ingegnere delle Ferrovie Locali, e fu adottato anche dalla Ditta Ganz per uso su altre linee.

Fra altro, lo stesso sistema fu impiegato anche su una sezione di 5 chilometri della Ueberetscherbahn, dove questa fa uso del binario della ferrovia Bozen-Meran, e verrà anche usato sulla ferrovia Arad-Hegyalja, con qualche modificazione nella costruzione degli armamenti delle mensole ai pali.

Fu fatta menzione della circostanza, che su una sezione lunga 5 chilom. della linea Budapest-Dunaharaszti il voltaggio è di 600 volt invece di 1000 volt. Questo è nella regione dei sobborghi della città, dove oltre i treni della ferrovia locale si fa anche un fitto servizio tramviario con vetture comuni del tipo di tramway cittadino. Questa circostanza non causa alcuna complicazione per i motori, perchè la diminuzione della velocità causata dalla minore tensione, corrisponde benissimo al servizio da farsi nei sobborghi. Ma per la luce fu chiesta una commutazione automatica, per avere i due gruppi da 5 lampadine in serie sui 1000 volt e in parallelo sui 600 volt. La soluzione ha

presentato più difficoltà di quanto si aspetterebbe, e molte lampadine furono bruciate per il cattivo funzionamento del commutatore automatico, prima che la soluzione giusta fosse trovata.

Riguardo la Ueberetscherbahn fu detto prima che l'apparecchiatura delle vetture è analoga all'apparecchiatura delle vetture a comando multiplo delle Ferrovie Locali di Budapest, per cui poco di nuovo si potrebbe dire su questo impianto.

In quanto alla ferrovia Arad-Hegyalja, di cui gli apparecchi sono ora in fabbricazione, si possono per ora dare i seguenti particolari. I quattro motori delle vetture vengono fabbricati per una tensione alle spazzole di 750 volt e perciò saranno usati collegati permanentemente in serie a coppie, e le due coppie saranno poi messe in serie o in parallelo, secondo il bisogno. Il comando sarà a “ contactors „, i quali però, per la maggiore tensione, saranno di costruzione diversa da quelli delle Ferrovie Locali di Budapest.

Fu già fatta menzione dell'impianto delle condutture, alla quale sarà di interesse aggiungere, che i pali da impiegarsi su questa linea saranno in cemento armato del tipo brevettato Kakujay, i quali si sono mostrati più economici dei pali in ferro.

Non faccio menzione dei particolari del macchinario elettrico delle stazioni centrali e delle sottostazioni degli impianti in parola, i quali saranno descritti dettagliatamente a suo tempo nelle pubblicazioni sulle riviste tecniche. Naturalmente in ogni caso si fa uso degli accumulatori per poter costruire le generatrici per il carico medio invece che per i massimi, derivandone economie di spese prime e di energia. Le batterie — con eccezione della ferrovia Arad-Hegyalja — sono combinate con delle survoltrici del tipo Pirani, le quali permettono, come è noto, di ottenere un carico più uniforme ancora sulle dinamo ed un voltaggio quasi perfettamente costante sulle sbarre omnibus.

Riassumendo, si può dire che il sistema di trazione elettrica a corrente continua ad alta tensione sta conquistando terreno, e il voltaggio usato ha una tendenza crescente allargando in corrispondenza il campo in cui questo sistema potrà competere cogli altri. Gli impianti della Ditta Ganz sono un'altra conferma tanto di questo processo di evoluzione, quanto dei buoni risultati di esercizio ottenuti col sistema altrove.

RÉSUMÉ

Au commencement, la traction électrique ne fut actionnée que par du courant continu. Mais dès qu'elle se trouvait en présence de conditions comportant de plus grandes distances et de plus grandes puissances, le courant continu ne répondait plus au but, en raison de la basse tension (env. 600 volts), vu que les frais des conducteurs et des stations de transformation y devenaient par trop considérables.

Dans ces circonstances, l'on fut amené à l'emploi du courant alternatif, d'abord du courant triphasé (Burgdorf-Thun, Valteline), plus tard du courant monophasé. Avec les systèmes à courant alternatif, il y avait moyen d'appliquer de hautes tensions au fil de travail, et c'était surtout le système monophasé qui se répandait rapidement, tandis que le système à courant continu tardait à se développer.

L'emploi de pôles auxiliaires dans les machines à courant continu, notamment dans les moteurs, a permis également, depuis quelques années, l'application de tensions élevées avec le système à courant continu. Les premiers chemins de fer à courant continu sous haute tension furent ceux de Köln-Bonn à 1000 volts (1906) et Indianapolis-Louisville avec 1200 volts (1907). L'emploi de la haute tension a été parfaitement satisfaisant, et les résultats d'exploitation permettent d'en déduire deux constatations. D'abord, la commutation des moteurs à pôles auxiliaires est parfaite, ce qui, d'une part, réduit notablement les frais d'exploitation, et d'autre part, le moteur peut supporter sûrement des surcharges particulièrement grandes (au-dessus de 100 %). En second lieu on a reconnu que la limite accessible en pratique pour la tension à courant continu n'est pas encore atteinte.

Sur cette base, le système à courant continu peut entrer en concurrence avec le système monophasé, auquel il est supérieur en ce qui concerne les frais d'exploitation et les conditions de poids de l'équipement électrique. Là où le système à courant continu présente des avantages particuliers, c'est pour les chemins de fer suburbains qui, à l'entrée d'une ville, empruntent les voies des tramways urbains. Ces avantages étaient même la cause qui, dans quelques cas en Amérique, fit abolir le système monophasé existant pour faire place au système à courant continu. Dans un cas (Washington, Baltimore et Annapolis-Ry) cela conduisit aux

avantages suivants: une économie de courant de 35 %, une réduction de 35 % des frais d'entretien de l'installation électrique des voitures, une diminution de 84,4 % dans les retards imputables à des accidents électriques.

Les avantages du service à courant continu sous haute tension peuvent être opposés aux frais d'établissement inférieurs avec le système à courant alternatif et, par un rapprochement approximatif, l'on peut dire qu'il faut une tension 5-6 fois plus élevée pour obtenir les mêmes résultats économiques qu'avec le système à courant continu. Si la tension à courant continu peut être élevée jusqu'à 2500 à 3000 volts, cela permettra au courant continu de soutenir la concurrence avec le courant alternatif jusqu'à env. 15000 volts.

En Hongrie, et en partie en Autriche, la maison Ganz, connue par ses constructions de chemin de fer à courant triphasé (Valteline), a déployé en ces derniers temps une grande activité sur le terrain des chemins de fer à courant continu sous haute tension. Elle s'occupe actuellement de l'électrification des lignes suivantes:

1. *Budapest-Dunaharaszti, 16,5 km., voie double, écartement normal;*
2. *Budapest-Kerepes-Gödöllò, 33 km., voie double, écartement normal;*
3. *Budapest-Szent-Endre. 16 km., voie double, écartement normal.*

Ces trois lignes appartiennent à la même Société des Chemins de Fer Locaux de Budapest (Budapesti Helyiérdekü Vasutak R. T.); la longueur totale de la voie est d'environ 160 km. La tension de la ligne est de 1000 volts, une section de 5 km. est seulement à 600 volts.

4. *Bozen-Kaltern-St. Anton. 17,5 km., voie simple, écartement normal; tension de la ligne, 1200 volts.*

5. *Arad-Hegyalja, 58,3 km., voie simple, écartement d'un mètre; tension de la ligne, 1500 volts.*

Pour les trois premières lignes, dont l'équipement est analogue, la maison Ganz fournit, outre les machines pour les centrales et pour les stations de transformation, l'équipement électrique du matériel roulant suivant:

12 locomotives à 2 moteurs de 150 ch^x; commande multiple (" contactors ");

38 voitures motrices à voyageurs, avec commande multiple, dont 18 à deux moteurs de 105 ch^x, 20 à deux moteurs de 75 ch^x.;

50 voitures-motrices à voyageurs, à 2 moteurs de 75 ch^x, avec contrôleur à main.

Pour le chemin de fer de Ueberetsch, la maison Ganz a fourni une station de transformation, 4 voitures-motrices à voyageurs à deux moteurs de 85 ch^x, et l'équipement de la ligne. Les voitures motrices sont pourvues de commande multiple.

Les fournitures pour la ligne Arad-Hegyalja sont en cours de fabrication; elles se composent d'une station de transformation, de 13 voitures-motrices à voyageurs à 4 moteurs de 55 ch^{x}, avec commande multiple. et de l'équipement de la ligne.

La ligne de Budapest-Dunaharaszti fonctionne depuis plus d'un an et donne les meilleurs résultats; le service fut inauguré avec 12 voitures à contrôleurs à main. Aucune pièce de contact n'a encore été changée aux contrôleurs à main, bien que les voitures-motrices fassent 45.000 à 65.000 kilomètres dans l'année.

Les locomotives ne sont en service que depuis peu de temps, et les résultats obtenus sont satisfaisants jusqu'à présent.

Les véhicules sont munis d'un dispositif de prise de courant du type Pantographe. Les pièces frottantes en aluminium durent environ 20.000 kilomètres-voitures.

L'équipement de la ligne des chemins de fer locaux n'a pas été fourni par la maison Ganz, mais la suspension de la ligne aérienne, système Jellinek-Fischer, fut adoptée par la maison pour d'autres lignes, telles que le Chemin de Fer de Arad-Hegyalja, et une section de la ligne de Bozen-Kaltern-St. Anton. Cet équipement de ligne est une suspension à chaîne, avec compensation automatique par encrage de poids, mais simplifiée par la suppression du fil conducteur entre le fil porteur et le fil de travail.

Sur la ligne Budapest-Dunaharaszti, un automate est employé pour la commutation de l'éclairage des voitures de 600 volts à 1000 volts ou vice-versa.

Les installations des voitures du Chemin de Fer de Bozen-St. Anton sont semblables à celles des Chemins de Fer locaux de Budapest.

Les installations des voitures du Chemin de Fer de Arad-Hegyalja ne sont pas encore terminées, mais elles s'écarteront un peu des installations dont nous venons de parler. Les 4 moteurs sont construits pour 750 volts et sont reliés constamment en série par deux.

Des poteaux en béton armé sont employés pour l'équipement de la ligne de ce chemin de fer.

Dans les stations de transformation, comme dans les centrales des lignes, des accumulateurs sont employés, partiellement avec survolteur système Pirani.

Ces installations de chemin de fer, exécutées par la maison Ganz, prouvent aussi le progrès et les excellentes qualités du système à courant continu sous haute tension, appliqué à la traction des chemins de fer.



DISCUSSION

M. E. Scheichl (Vienne) *désire ajouter au rapport de M. Gyáros que la maison Krizik, de Prague, avait déjà, en 1903, construit une ligne locale de Tabor à Bechyn, en Bohémie, au courant continu de 2 × 750 volts; quelques années plus tard, elle fit des essais de démonstration sur le réseau de Vienne avec du courant continu de 2 × 1500 volts. Si ces essais n'ont conduit à aucun développement de l'électrification du réseau de Vienne, ce ne fut pas à cause du système de courant.*

Quant à l'hypothèse générale de M. Gyáros, que le courant continu sous tension (2500-3000 volts) peut faire concurrence au courant monophasé à 15.000 volts de tension, sur la ligne de contact, il doit être observé que cette opinion étonnera un peu l'ingénieur-électricien qui s'occupe de traction électrique et qui examine la question entière au point de vue objectif. Il n'est pas question de nier que, pour beaucoup de lignes, le courant continu à 2500-3000 volts soit économiquement préférable au courant alternatif à 15.000 volts; cependant, ceci ne peut être le cas que si les conditions d'installation et d'exploitation des lignes en question sont telles que les avantages du système à courant alternatif à ligne de contact à haute tension ne peuvent pas être utilisés. Lorsque l'on pourra actuellement utiliser économiquement le courant alternatif à 15.000 volts sur une ligne, il est certain que l'on ne trouvera plus que le courant continu à 3000 volts est suffisant.

M. O. Markt (Vienne). — *L'assertion de M. Gyáros que le courant continu de 2500 à 3000 volts peut, en général, rivaliser avantageusement avec le courant alternatif monophasé de 15.000 volts ou plus, surprendra certainement beaucoup d'ingénieurs.*

Cette assertion ne saurait être fondée que si les conducteurs de transport d'énergie, qui forment partie intégrante de tout chemin de fer électrique, donnaient, avec le courant alternatif monophasé, des résultats beaucoup moins satisfaisants qu'avec le courant continu.

A cet effet, je me permets d'établir le parallèle suivant:

L'impédance kilométrique d'un chemin de fer à voie normale doté de rails d'un poids approximatif de 35 kg. par mètre et d'une ligne de travail de 100 mm² alimentée par du courant alternatif à 15 périodes par seconde, est d'environ 0,37 ohm par 1 km., tandis que la même ligne

offrirait, avec le courant continu, une résistance de 0,2 ohm/km. En employant deux lignes de travail, on obtiendrait 0,115 ohm/km.

Un simple calcul montre qu'en admettant le même pourcentage pour la chute de voltage, la distance entre les points d'alimentation peut être environ cinq fois plus grande pour le courant alternatif monophasé à 15.000 volts que pour le courant continu à 3000 volts avec deux lignes de travail (1).

Pour les grandes distances — et ce n'est qu'ici que les avantages du système monophasé se font le mieux sentir — la marche à courant continu exige un si grand nombre de sous-stations de transformation que leurs frais d'établissement et d'exploitation équivalent ou dépassent même les frais d'établissement supérieurs de l'équipement du système monophasé augmenté de la dépense d'énergie annuelle supplémentaire résultant du poids plus élevé du matériel roulant.

L'assertion que 2500 à 3000 volts à courant continu équivalent à 15.000 volts de courant monophasé n'est donc nullement justifiée.

Aucun domaine de la transmission électrique de la force ne comporte d'ailleurs, autant que l'exploitation des chemins de fer, la nécessité de ne prendre une décision qu'après avoir étudié les conditions spéciales de chaque cas.

C'est surtout pour les lignes interurbaines, où le courant continu à haute tension trouve principalement son application, que des circonstances tout à fait insignifiantes à première vue ont souvent une importance décisive.

Parmi les avantages d'importance secondaire, on pourrait citer pour le courant continu:

1° L'action compensatrice simple et relativement très bon marché, désidératum dont on devrait parfois tenir compte quand il s'agit de chemins de fer ne possédant pas leur propre usine génératrice.

2° L'encombrement relativement faible du moteur à courant continu par rapport au moteur à courant monophasé de puissance égale, ce qui constitue un avantage précieux pour les automotrices à voie étroite (76 cm. et 1 m.), où l'emplacement réservé au moteur est particulièrement restreint, etc.

---

(1) Voir: Dr. Gleichmann, E. T. Z., 1911, p. 903 et 904.

L'ÉLECTRIFICATION

des Grandes Lignes de Chemins de Fer

C. O. Mailloux (New York)

L'auteur déclare, en commençant, qu'il n'a pas la prétention ou l'espoir d'épuiser une question dont l'étendue et la portée sont si grandes. Il se bornera à la discussion de certaines considérations générales, de nature autant économique que technique, qui sont, il lui semble, trop souvent négligées par les partisans de la traction électrique, ce qui donne lieu à des critiques plus ou moins sévères, et parfois assez justifiées, de la part de ceux qui préconisent la traction par locomotives à vapeur.

L'auteur parle d'une communication très sérieuse, faite en Amérique, il y a quelque temps, sur l'électrification des grandes lignes, et qui fut suivie d'une discussion très intelligente et utile. Une des revues techniques les plus réputées se permit, là-dessus, des critiques de mauvaise humeur, en commençant par exprimer le regret qu'il n'y eût eu, à la discussion, aucune personne présente qui était aussi bien renseignée sur les conditions et les besoins pratiques d'un système de transport que sur les avantages et les économies de la traction électrique. Ce n'est pas la seule fois que l'on a reproché aux ingénieurs-électriciens leur manque de connaissances suffisantes des conditions à remplir que comporte tout problème de transport sur voie ferrée. Pourtant, ils savent tous bien que ce problème comprend beaucoup plus de choses qu'un moteur ou un système de traction; ils savent même que le moteur ou le système de traction n'est, en somme, qu'un détail de la solution du problème. Malheureuse-

ment, ils voient le moteur ou le système de trop près, et, en conséquence, celui-ci prend pour eux une importance exagérée, en comparaison avec le reste. La relativité des choses est très différente, parce que le point de vue est tout-à-fait différent, pour les administrateurs des grandes lignes de chemins de fer, lesquels désirent et cherchent un système de traction qui, non seulement " marche „, mais qui " rapporte „. Il est assez naturel pour ceux-ci d'avoir des sentiments de méfiance, sinon de mépris, pour tout système de traction qui, bien qu'il puisse " marcher „ aussi bien que la vapeur — ou même mieux —, n'est pas sûr de " rapporter „ aussi bien, ou du tout, dans les cas qui les intéressent.

La question de l'électrification des grandes lignes n'est pas aussi récente qu'on serait tenté de croire, en se basant sur les discussions vives qu'elle soulève toujours parmi les techniciens. Elle occupe l'attention des ingénieurs de l'industrie du transport depuis assez longtemps. On y songeait il y a passé 25 ans; on en causait sérieusement il y a 20 ans; et on s'occupait d'applications pratiques il y a déjà plus de 15 ans. Il est étonnant d'avoir à constater, après cette longue période, que nous ne sommes pas encore d'accord sur bien des choses qui sont plus ou moins fondamentales. Ainsi, les discussions aux séances de cette Section (V^e) ont fait voir encore une fois l'acharnement avec lequel les " systèmes „ continuent à se jalouser et à se faire la guerre. On dirait même que la " bataille des systèmes „, qui dure déjà depuis plusieurs années, ne fait que commencer.

Les partisans de tel ou tel système se glorifient souvent, sans la moindre raison, de voir leur système favori adopté pour une électrification quelconque. Ils se vantent du choix qui a été fait de leur système dans des cas où, en réalité, tous les autres systèmes se trouvaient exclus, par des empêchements particuliers ou des raisons exceptionnelles qui n'avaient rien à faire avec les qualités ou les défauts de ces systèmes. Ainsi, pour l'électrification du terminus du réseau de la compagnie du " New York Central „, à New York, nous savons, d'après une déclaration de M. Wilgus, à cette époque vice-président de la compagnie, et chef de la commission d'ingénieurs qui eut la haute direction technique de cette électrification, que le choix du système de traction à courant continu était pratiquement inévitable et devait se faire quand même, indépendamment des avantages qu'il présentait, pour les raisons suivantes: 1°, il n'y

avait pas de place dans les tunnels pour des lignes de contact aériennes; 2°, ces lignes étaient interdites absolument par les règlements de la ville de New York. Il fallait donc utiliser le troisième rail, ou le caniveau. Ce dernier n'était pas pratique. On adopta donc le troisième rail avec courant continu à la tension maxima permissible — 600 volts. D'autre part, pour l'électrification du réseau terminus de la compagnie du " London, Brighton & South Coast Railway „, à Londres, le système à courant continu était inadmissible, pour la raison qu'il eût fallu reconstruire les stations et les plateformes, et peut-être même modifier les voitures pour pouvoir utiliser le troisième rail. Les conclusions des trois experts (MM. Cardew, Morgan et Aspinall) citées par M. Dawson, dans le mémoire présenté par lui récemment, à l'Institution of Civil Engineers, sur cette électrification, ne laissent aucun doute sur ce point. On pourrait citer encore plusieurs cas importants où le soi-disant choix de système ne fut pas un " choix „ mais un " sort „, déterminé par des conditions arbitraires. On peut dire que, presque dans chaque cas, au cours de l'étude technique d'un projet d'électrification, les ingénieurs rencontrent de telles conditions et circonstances particulières, extraordinaires, ou accidentelles, qui interviennent inopinément, pour déranger les calculs, influencer les décisions prises, et modifier les plans, parfois d'une façon plus ou moins radicale. L'auteur se sert de l'expression " facteurs péremptoires „ pour désigner ces éléments arbitraires qui figurent toujours. soit sous une forme, soit sous une autre, dans chaque problème d'électrification.

Un " facteur péremptoire „ est un fait, ou une donnée, qui s'impose arbitrairement, sans discussion possible. C'est, en quelque sorte, une quantité qui, pour un cas donné, prend une valeur plus ou moins fixe, c'est-à-dire qu'il est difficile ou impossible de faire varier. Les facteurs péremptoires sont, pour ainsi dire, les " constantes „ d'un problème d'électrification. On doit s'attendre à en trouver plusieurs dans chaque cas; et ils peuvent différer beaucoup en importance ou en valeur relative.

L'auteur conseille toujours à ses élèves, dans les cours de traction électrique professés par lui, de commencer par déterminer ces " constantes „, et les " limites „ de toutes sortes dont il y a lieu de tenir compte dans tout problème d'électrification; et, ensuite, d'assortir ou de classifier ces constantes et données, afin d'en trouver la relativité, ou l'ordre de leurs valeurs ou

de leur importance, comme " facteurs „. Il a constaté, maintes fois, que ce procédé de triage préliminaire élimine beaucoup de discussion et de travail vraiment inutiles. Trop souvent a-t-on cherché la " meilleure „ solution d'un problème d'électrification qui, en réalité, on pourrait dire, n'admet d'aucune bonne solution. L'auteur trouve utile et recommande de déterminer aussi rapidement et facilement que possible si, en principe, un projet donné est " possible „, c'est-à-dire industriellement " réalisable „. Dans l'ordre logique, les questions de détails doivent venir à la suite des questions de principe.

On se préoccupe trop de la question du choix de système, et on la discute trop. Dans la plupart des cas cette question est essentiellement secondaire, étant subordonnée à beaucoup d'autres questions et de circonstances tellement plus importantes qu'elles sont, en sorte, des considérations prépondérantes, c'est-à-dire " péremptoires „. Cette observation se vérifie et se généralise bien facilement. En effet, tous ceux qui suivent de près la question de l'électrification, reconnaissent, d'emblée, et sans la nécessité d'aucune preuve, qu'il y a des cas où même le système de traction électrique le plus parfait ne serait pas pratique, et d'autres cas où le système le moins parfait répondrait à tous les besoins. Il y a diverses catégories de cas: 1°, ceux où l'électrification est non-réalisable; 2°, ceux où elle est douteuse; 3°, ceux où elle est susceptible de réalisation; 4°, ceux où elle s'impose ou bien est imposée. Si nous cherchons le pourquoi, nous trouvons, pour chaque cas, des circonstances et des raisons qui sont plus importantes, plus " péremptoires „ que le choix du système de traction, lequel reste toujours au second plan.

Dans les deux premières catégories (l'électrification non-réalisable et douteuse) les empêchements qui s'opposent péremptoirement à la réalisation pratique de l'électrification sont toujours, en réalité, de nature financière, étant donné que les obstacles et les difficultés de nature physique (travaux d'art difficiles et coûteux, etc.) sont, en principe et en général, surmontables, si les moyens financiers ne font pas défaut. Or, il convient de noter que, dans la plupart de ces cas, le choix du système n'aurait pratiquement aucune influence pour faire disparaître l'impossibilité ou le doute de succès. L'ingénieur-électricien se trouve donc forcé de reconnaître et d'admettre, lui aussi, qu'il y a une distinction très importante à établir entre

une affaire qui " marche „ bien au point de vue technique, mais pas bien ou pas du tout au point de vue financier, et une affaire qui marche bien sous ces deux rapports. Le mérite ou succès technique ne suffit pas, à lui seul. Il faut qu'il soit bien doublé ou blindé de mérite ou succès financier. C'est pour cela que l'on dit souvent, et non sans raison, que les vrais ingénieurs de l'électrification sont des financiers.

Pour le troisième cas (l'électrification réalisable) c'est la question du rendement financier qui devance toutes les autres. Le choix du système peut, à la rigueur, influer sur le degré de " réalisabilité „. Cela veut dire qu'un certain système peut avoir certains avantages dans un cas donné, sans, cependant, être le seul système qui soit pratique pour ce cas.

Pour la quatrième catégorie (l'électrification qui s'impose ou qui est imposée) le rendement financier n'est plus au premier rang; ce n'est plus le principal facteur péremptoire. Les raisons prépondérantes sont, alors, les suivantes: 1°, la nécessité absolue d'activer la circulation du trafic, ou d'augmenter le rendement de la voie (ou la totalité de transport), soit à certains endroits seulement, soit sur tout le réseau, pour remédier à des congestions ou engorgements de trafic; 2°, des conditions de service que la traction électrique seule peut remplir, comme dans les tunnels, les réseaux souterrains, etc., surtout dans les grandes villes; 3°, force majeure, ou contrainte, exercée sur la compagnie, par les autorités publiques, sous la forme d'ordonnances ou de décrets, imposant formellement la traction électrique, soit pour augmenter le confort ou la sécurité des voyageurs, soit pour aucune autre raison logique, ou même arbitraire.

Même dans le cas de l'électrification " imposée „, cependant, l'administration de la compagnie n'oublierait jamais le côté financier de la question. Le but principal de toute entreprise de chemin de fer, celui qu'elle vise directement et ne perd jamais de vue, c'est le profit de cette entreprise, et qu'il lui faut faire afin que le " capital investi „ rapporte, d'une manière satisfaisante, aux détenteurs des titres et des obligations.

L'auteur mentionne une communication faite par lui, au Congrès d'Electricité de Marseille, en 1908 (voir les comptes-rendus de ce Congrès, Tome III, pages 178-195), sur la manière de faire l'étude technique et financière d'un projet électrique, en Amérique. (Voir, aussi, Proceedings of New York Railroad

Club, séance du 18 mars, 1910, Vol. XX, N° 5, pages 2011-2016). Il rappelle la formule suivante, donnée par lui :

$$\frac{R - D}{C} \times 100 = F. \qquad (a)$$

Dans cette équation, nous avons

R = Recettes annuelles totales (Revenus bruts totaux);
D = Dépenses annuelles totales (Frais totaux);
C = Capital total investi;
F = Facteur représentant le taux d'intérêt total, que l'affaire rapporte ou bien qu'elle perd.

Dans cette formule, R symbolise et comprend les revenus de toutes sortes, et D symbolise et représente les dépenses et frais de toutes sortes, qui résultent de l'exploitation de l'affaire. Si l'on veut tenir compte séparément des diverses sortes de revenus (transport de voyageurs, marchandises, etc.), on posera

$$R = R' + R'' + R''' + \text{etc.}$$

La quantité D se répartit ordinairement en deux sortes de débours, soit les dépenses " fixes „ et les dépenses " variables „. On posera alors

$$D = D' + D''.$$

Les dépenses fixes comprennent toutes dépenses et frais qui sont indépendants du régime d'exploitation, ou de la quantité de service fournie par l'affaire en question. Ce sont les sommes que la compagnie devra payer quand même — que l'affaire marche bien ou mal — pour l'intérêt des actions et des obligations, l'amortissement, les fonds de réserve, l'assurance, les impôts, les salaires et dépenses des bureaux de direction et d'administration, et, en général, pour toutes dépenses qui restent fixes. Ces dépenses varient entre certaines limites suivant les cas. L'intérêt peut varier de 3 % à 6 % et au delà; l'amortissement, de 3 % à 7 %. Les autres dépenses fixes correspondent à des taux qui sont moindres et qui varient moins. Le total (D) n'est guère ou jamais inférieur à 12 pour cent du capital total investi; il est plus souvent entre 14 et 18 pour cent; et, parfois, il atteint ou même dépasse 20 pour cent.



Les dépenses variables comprennent les sommes que coûtent la main d'œuvre, le combustible, la manutention, les réparations, le nettoyage, et, en général, tous frais d'exploitation, gros ou petits, qui varient avec le régime d'exploitation, et avec le volume total d'affaires que l'entreprise fait.

Le quantité C comprend tous les capitaux, soit fictifs, soit réels, sous la forme de titres, actions et obligations, de toutes sortes, que la compagnie est tenue de rémunérer ou d'amortir. C'est le total sur lequel il faut que l'exploitation " rapporte ", à raison d'un certain " pour cent " minimum par an, en moyenne, pour maintenir son crédit et sa réputation d'être une bonne affaire. Si l'on veut tenir compte séparément des diverses sortes de capitaux " investis ", on peut le faire en posant

$$C = C' + C'' + C''' + \text{etc.}$$

La formule (*a*), écrite sous n'importe quelle forme, indique le " mérite financier " d'un projet électrique. Elle indique la " réalisabilité " financière de l'entreprise.

Le numérateur $(R - D)$ représentera un profit si R est plus grand que D, et un déficit dans le cas contraire. Le signe de F sera positif s'il y a un profit, et négatif s'il y a un déficit. La valeur numérique de F variera avec la valeur du profit ou du déficit, puisque C sera constant pour chaque cas donné.

Le mérite financier de l'affaire sera adjugé d'après la valeur de F donnée par la formule. Si, par exemple, pour un cas donné, nous trouvons $F = 4$, cela voudra dire que les profits réalisés par l'entreprise représentent 4 % du capital total investi; ce qui, évidemment, ne serait pas " fameux ". Une valeur de $F = 6$, ou $F = 7$, serait plus satisfaisante, car, en supposant que les obligations (formant, disons, le tiers ou la moitié de la capitalisation totale) touchent 5 % d'intérêt, et exigent 1 % ou 1 ½ % pour leur amortissement, il resterait encore quelque chose pour les actions, pour la réserve, etc. Une valeur de $F = 10$ indiquerait une affaire qui " marche " assez bien, financièrement. Au-dessus de $F = 10$, l'affaire devient " bonne "; et, naturellement, plus F montera en valeur, plus l'affaire aura de " mérite financier ".

L'échelle du mérite financier en fonction des valeurs de F est ici différente de celle donnée à Marseille, parce que nous mettons maintenant dans C beaucoup plus qu'auparavant.

Dans les cas traités à Marseille, la formule (*a*) servait à in-

diquer le mérite financier d'une affaire non-réalisée ou à l'état de projet; et alors C comprenait seulement les capitaux actuellement nécessaires pour mettre l'affaire en pleine marche industrielle. La valeur de F obtenue alors était celle dont a besoin un groupe financier, avant de faire une émission d'actions et d'obligations, pour fixer le total de capitalisation que l'affaire semble en état de justifier, y compris les " parts „ de " promoteurs „.

Dans les cas qui nous occupent maintenant la formule (*a*) sert à indiquer le mérite d'une affaire supposée réalisée, et dont la capitalisation totale est connue; et alors C comprend la valeur totale nominale (ou prise " au pair „) de toutes les actions et obligations émises avant, durant et après l'électrification en question. La valeur de F obtenue maintenant laisse prévoir quelle sera la situation financière après que l'électrification sera faite.

Suivant l'auteur, aucune électrification de grande ligne de chemin de fer ne peut se justifier sans que sa " réalisabilité „ au point de vue financier soit indiquée par la formule (*a*).

L'électrification d'une ligne de chemin de fer à vapeur comporte, de nécessité, une augmentation considérable du capital investi, c'est-à-dire de la valeur de C, qui figure au dénominateur de l'équation. Or, pour maintenir la valeur de F au même niveau qu'auparavant, ou pour la faire monter plus haut (ce que l'électrification promet), il faudra augmenter la valeur du numérateur (R — D) qui représente les revenus nets. Cela veut dire, évidemment, que l'électrification se justifiera, au point de vue financier, seulement si elle conduit soit à une augmentation des revenus bruts (R), soit à une diminution des frais totaux d'exploitation (D), ou soit à ces deux résultats à la fois. L'augmentation du capital investi entraîne une augmentation forcée des dépenses fixes (intérêts, amortissements, etc.). C'est donc les dépenses variables qui devront diminuer.

La formule doit s'appliquer au réseau *entier*, c'est-à-dire que R devra représenter tous les revenus, D tous les frais, et C tous les capitaux investis (anciens et nouveaux). En appliquant la formule à seulement une partie d'un réseau, on pourrait arriver à des résultats négatifs (— F) indiquant en apparence que la compagnie a fait une mauvaise affaire. On rencontrera ce cas surtout pour des électrifications " imposées „ coûtant très cher, comme, par exemple, celles des terminus, faites, à New York,

par les grandes compagnies, la " Pennsylvania „ et la " New York Central „. Ces électrifications comportent, chacune, une augmentation de capital investi dépassant $ 50.000.000 (250 millions de francs). La formule d'ailleurs, nous laisse bien deviner tout de suite qu'il s'agit ici d'électrification " imposée „. Il ne faut pas conclure, cependant, que l'électrification " imposée „ n'est pas, quand même, tenue de se justifier financièrement, elle aussi. Une compagnie de chemins de fer non-subventionnée ne doit et ne peut faire que des placements qui promettent d'être profitables et de bien " rapporter „. Plus une électrification coûtera cher (avec les travaux d'art et les constructions qu'elle rend nécessaires), plus il faudra augmenter les recettes (R) et diminuer les frais d'exploitation (D) afin que les revenus nets (R — D) soient augmentés suffisamment pour " couvrir „ l'augmentation du capital investi qu'elle aura exigée. Elle se trouvera justifiée lorsque, en appliquant la formule de réalisabilité (*a*) au réseau entier, on trouvera une valeur de F aussi bonne ou meilleure qu'avant l'électrification. Un tel résultat voudra dire que, à tout compter, la compagnie aura fait une bonne affaire. Si la valeur de F est sensiblement plus forte qu'auparavant, la compagnie aura amélioré sa situation financière en électrifiant ses lignes, puisque tout le capital investi, l'ancien comme le nouveau, rapportera alors mieux qu'auparavant. Une valeur plus faible de F indiquerait que les avantages et les bénéfices auxquels on s'attendait ne se réalisent pas, ce qui mettrait en doute l'utilité du projet.

La précision de la valeur de F dépendra évidemment de l'exactitude des valeurs prises pour R, D et C. Dans le cas d'une affaire réalisée et en pleine marche industrielle, il est assez facile d'obtenir des valeurs exactes. Malheureusement, c'est avant la réalisation, au début, d'un projet d'électrification, que nous avons le plus souvent besoin de la formule (*a*). Or, les valeurs de R, D et C, trouvées avant l'électrification, c'est-à-dire lorsque le service de traction est encore fait à la vapeur, ne seront plus les bonnes après l'électrification. Il sera donc nécessaire de faire une " évaluation „ préalable des valeurs " probables „ de ces facteurs. Pour cela il faudra faire une étude plus ou moins détaillée de toutes les conditions et circonstances du problème. Voici, à ce propos, ce que l'auteur disait à Marseille (Tome III, pp. 189-190):

" La formule elle-même est assez simple, mais l'application

" en est bien difficile, comme on le constate en l'examinant de " plus près. On voit bien vite que, en réalité, cette formule nous " fait aller bien plus loin qu'on eût cru nécessaire au premier " abord, pour trouver les quantités R, D, C, dont nous avons " besoin pour trouver la valeur cherchée de F. En somme, pour " obtenir la valeur de F avec cette formule, il faut avoir préa- " lablement des renseignements et des données sur plusieurs " choses. Il faut être fixé sur le caractère et la qualité du " service ainsi que de l'équipement proposés, sur le mode " d'exploitation et sur les considérations de toutes sortes ca- " pables d'influencer le prix d'établissement, l'économie d'exploi- " tation et le rendement industriel. Cette formule nous invite " ou force donc à étudier bien des détails..... „.

L'auteur faisait, sur le même sujet, à New York, en 1910 (N. Y. R. R. Club, T. XX, pp. 2014-15), les observations suivantes:

" On voit donc que cette équation est suffisamment compré- " hensive pour résumer à peu près tout ce qui entre dans un " projet d'électrification et tout ce qui en résulte..... La dis- " cussion élémentaire de cette équation révèle les facteurs " fondamentaux qui déterminent les arrangements et les ré- " sultats financiers, de tout projet de traction électrique, quelle " que soit la force motrice employée..... Toutes les solutions et " les méthodes de solution de problèmes de traction ne sont " que des détails de la solution de cette équation. Pour entrer " dans ces détails il faut traverser un vaste domaine technique " et économique. Ainsi, à propos des revenus (R) il faut prendre " en considération tout ce qui peut les influencer et les aug- " menter..... Quant aux dépenses (D) il faut considérer en détail les " frais d'exploitation, la " qualité „ du matériel et de l'équipement, " le personnel, les horaires, les méthodes d'exploitation, etc., " en somme, tout ce qui peut influer sur les frais d'exploitation. " On se trouve forcé de constater ici que la qualité de l'équi- " pement peut avoir beaucoup d'influence sur les résultats finan- " ciers ultérieurs, en raison des effets produits sur les dépenses " " fixes „ et " variables „. En général, le coût d'établissement, " et, par conséquent, le capital nouveau nécessaire, aug- " menteront avec la " qualité „ de l'équipement, ce qui fera " augmenter les dépenses " fixes „ (intérêts, amortissements, " impôts, etc.). Par contre, en raison de la meilleure qualité de " l'équipement, il peut y avoir des économies considérables dans " le dépenses " variables „ (main-d'œuvre, combustible, répa-

" rations, etc.). Il faut une étude très soignée et beaucoup " d'expérience pour déterminer jusqu'à quel point il y a lieu " de rechercher la "qualité„ de l'équipement, pour un cas donné. " Notre formule a le mérite de permettre même de prédire, et " de déterminer d'avance, les conséquences et résultats financiers " de tout ce que les ingénieurs feront, ou négligeront de faire, " dans leurs études techniques. Elle nous rappelle que tout ce " que l'ingénieur fait, bien ou mal, a une signification ou une " valeur, en argent, pour le financier, lequel, comme nous l'avons " déjà fait pressentir, est souvent l'arbitre du sort d'un projet. " L'ingénieur qui remplit le mieux son devoir est celui qui " cherche à obtenir la meilleure valeur de F pratiquement " réalisable, c'est-à-dire la valeur maxima la plus durable; et, " pour cela, il faut beaucoup de soin, de jugement et d'expé- " rience..... „.

Bien que la formule (*a*) donne toujours une réponse formelle et définitive à la question de la réalisabilité, il n'est pas nécessaire d'en faire usage pour tous les cas. Il est souvent possible de déterminer par d'autres moyens que l'électrification est impossible ou douteuse. Ainsi, on se sert souvent, pour cela, des statistiques de revenus, de trafic, etc., de la ligne en question. Les diverses lignes peuvent être classifiées suivant certaines données, telles que les revenus (bruts ou nets) ou bien le volume de trafic, en tonnes-kilomètres et en voyageurs-kilomètres, par an, par kilomètre de ligne. Ces statistiques sont utiles jusqu'à un certain point. On suppose généralement qu'il faut un certain volume et une certaine densité de trafic sur une ligne de chemin de fer pour que cette ligne puisse supporter les frais d'électrification. Il est vrai que, lorsque les statistiques indiquent un volume et une densité de trafic très faibles, l'on peut conclure, sans beaucoup risquer de se tromper, que l'électrification est impossible; mais il ne faut pas conclure, comme on l'a fait assez souvent, que, d'autre part, l'électrification devient réalisable dès que les revenus et le trafic atteignent ou dépassent certaines valeurs. Nous savons, du reste, que dans un grand nombre de cas, l'électrification reste toujours douteuse ou non-réalisable malgré un volume et une densité de trafic (et des revenus) très considérables. Cela peut étonner beaucoup d'ingénieurs qui sont encore sous l'impression que la réalisabilité de l'électrification est liée plus ou moins intimement et définitivement à la densité de trafic. Le fait est que, contrairement à l'opinion générale,

la densité de trafic, en elle-même, n'a guère de signification ou d'importance. Les statistiques de volume et de densité de trafic ne sont, en réalité, utiles que pour indiquer et mesurer des facteurs d'importance beaucoup plus grande, et parfois " péremptoires „, soit les " facteurs d'activité „.

On sait que " l'activité „ relative d'une usine génératrice électrique se mesure et s'exprime par un " facteur de charge „. L'auteur propose l'emploi de facteurs analogues pour mesurer et indiquer " l'activité „ relative des locomotives, de la voie, du système entier, et du trafic. On évitera toute confusion en les appelant " facteurs d'activité „, ou " coefficients d'utilisation „.

Pour chaque facteur, on fixera une certaine " activité „ maxima qui est théoriquement réalisable — comme l'on fait pour le facteur de charge d'une station — et qui correspondra à la valeur maxima du facteur, soit la valeur égale à unité, ou à 100 pour cent. Pour l'équipement de traction, l'activité maxima sera mesurée en kilomètres parcourus, ou bien en heures de travail, par jour de 24 heures; pour la voie elle sera mesurée par la quantité totale de trafic (nombre de trains, voitures, ou bien tonnes de marchandises, nombres de voyageurs, etc.) passant par un point donné, dans les deux directions, par jour de 24 heures, étant supposé que la " circulation „ des trains soit tout le temps la plus active théoriquement possible, non-seulement au point d'observation mais sur toute la ligne. En supposant que ce " régime intense „ de service maximum se maintienne sans relâche et partout sur le réseau, durant 24 heures, et que tous les trains de voyageurs et de marchandises soient " au complet „ tout le temps, nous aurions le rendement maximum du réseau, et le maximum théorique de trafic, c'est-à-dire que le " facteur de trafic „ serait égal à unité (100 %) pour cette ligne.

Les activités maxima en question peuvent être fixées plus ou moins arbitrairement, puisque (comme c'est, d'ailleurs, le cas pour les " facteurs de charge „ d'une station centrale) elles ne servent qu'à déterminer une " échelle de relativité „. Il y a donc beaucoup de latitude possible dans le choix de ces valeurs maxima, à conditions, toutefois, que " l'échelle „ reste la même pour toutes les lignes du même caractère ou que l'on voudra comparer entre elles.

Tandis que les comparaisons basées sur les statistiques ordinaires — les tonnes-kilomètres et les voyageurs-kilomètres —

ne fournissent que peu d'indications utiles, celles basées sur les facteurs d'activité et de trafic peuvent être de la plus grande utilité et importance, pour l'étude de la réalisabilité de l'électrification.

Le trafic maximum théorique sera naturellement moindre sur une ligne à voie simple que sur une ligne à voie double, où les trains peuvent circuler dans les deux directions sans se nuire les uns aux autres, et sans perte de temps. Sur une ligne à voie simple la voie peut être très " occupée „, c'est-à-dire que son facteur d'activité peut être très élevé sans que, cependant, le volume total de trafic soit relativement gros. Ce n'est donc pas le volume total de trafic ou sa densité, c'est plutôt le " régime „ (l'intensité) d'exploitation, qui nous intéressera, lorsque nous voudrons comparer les facilités que possèdent diverses lignes pour leur trafic. Il est ordinairement très difficile de comparer les résultats obtenus sur des lignes de caractère différent; mais une fois que leurs facteurs d'activité sont fixés il devient possible et assez facile de faire une comparaison utile de toutes sortes de lignes.

L'évaluation des facteurs d'activité pourra être plus ou moins difficile dans bien des cas; mais elle en vaudra toujours la peine, car ces facteurs nous permettront d'assortir et de classifier les lignes de chemins de fer en divers groupes, suivant leurs caractéristiques, d'une manière plus rationnelle et instructive qu'il n'a été possible jusqu'à présent.

Les grandes lignes se répartissent naturellement en deux groupes principaux, à savoir, les lignes à voie simple, et les lignes à voies multiples. Dans chaque groupe il y a lieu de distinguer entre les lignes " en pays plat „ et les lignes " en pays montagneux „; entre les lignes où il y a peu ou pas de rampes, courbes, tunnels, ponts, etc., et les lignes où il y en a beaucoup; entre les lignes de long parcours desservant des régions agricoles ou minérales, peu populeuses, et les lignes qui desservent des régions concentrées, industrielles, commerciales, et relativement populeuses; entre les lignes qui ont beaucoup de voyageurs à transporter, et les lignes qui n'en ont que peu; et il faut, naturellement, tenir compte des cas où il existe des circonstances et conditions spéciales, favorables ou défavorables à l'électrification. Il y a lieu de croire que les facteurs d'activité varieront beaucoup suivant les caractéristiques et les conditions d'exploitation des lignes; et la variation de ces facteurs peut, dans bien des

cas, faire voir les raisons qui empêchent ou imposent l'électrification.

On sait que la voie représente toujours une partie considérable du capital total investi. Or, plus la voie sera utilisée pour le service de transport, c'est-à-dire, plus son facteur d'activité sera élevé, plus le capital qu'elle représente sera directement productif. On atteindra donc, jusqu'à un certain point, un but économique, en faisant monter le facteur d'activité de la voie. Il va de soi que cette augmentation d'activité doit être justifiée par une augmentation de trafic, actuelle ou prévue.

Une grande qualité de la traction électrique, qui, bien souvent, la rend désirable et la recommande, c'est son pouvoir d'augmenter l'activité de la voie. Elle atteint ce but en fournissant un système de traction plus efficace, ayant un facteur d'activité plus élevé, que la traction à vapeur.

L'activité semble avoir beaucoup d'importance et devoir mériter notre attention sérieuse, dans l'étude de la réalisabilité de l'électrification. Le manque de données numériques nous empêche, pour le moment, de vérifier et de préciser diverses relations qui promettent d'être intéressantes et utiles. Il faut espérer que cette lacune sera comblée avant longtemps.

En général, c'est sur les lignes à voie simple que l'activité de la voie est la plus réduite. En Amérique, cela veut dire beaucoup, puisque plus de 95 pour cent des lignes sont à voie simple, y compris les grandes lignes transcontinentales. Au début, la raison de ce manque d'activité était la même pour toutes ces lignes, à savoir, le manque de clientèle, lequel, à son tour, est dû au manque de population, d'industrie et de commerce, dans des régions relativement peu développées. Le trafic augmente toujours plus rapidement sur certaines lignes que sur les autres. Les lignes qui n'ont pas de concurrence peuvent, en général, compter sur la totalité du trafic de la région qu'elles desservent, et elles prospèrent de plus en plus, à mesure que la région se développe. Les lignes qui ont ou qui font de la concurrence — lesquelles sont assez nombreuses — peuvent avoir moins ou plus que leur “ part „ de trafic. En outre, il ne faut pas oublier que la situation générale, parfois même les événements, sont favorables à certaines lignes et nuisibles à d'autres. Il est donc assez naturel que les facteurs d'activité ne soient pas les mêmes partout.

Dans la grande majorité — (au moins 80 pour cent) — des

cas, les facilités de transport de la ligne sont plus ou moins en rapport avec son trafic. Le développement de ce trafic est relativement lent; et il est difficile sinon impossible de le " pousser „ en améliorant les facilités de transport. On peut dire sans hésitation que l'électrification n'est pas réalisable sur ces lignes, du moins pour le présent et dans un avenir prochain.

Dans le reste des cas il y a encore beaucoup de lignes qui manquent de trafic. Il s'en trouve, cependant, qui manquent de facilités de transport et où il y a possibilité " d'activer „ le trafic en même temps que les facilités de transport. Ce sont celles-ci seulement qui nous intéressent. Même ici, cependant, l'électrification n'est pas le premier moyen auquel on aura recours pour augmenter les facilités; au contraire, ce sera plutôt la dernière ressource de la compagnie, c'est-à-dire que celle-ci épuisera probablement tous les autres moyens avant d'arriver à l'électrification. Le pire de la chose c'est qu'il faudra admettre, bon gré mal gré, que la formule de réalisabilité (*a*) donnera raison à la compagnie dans la plupart, sinon la totalité, des cas.

Pour faire face aux besoins du trafic augmentant sur une grande ligne, la compagnie augmentera le nombre et la puissance des locomotives et aussi le nombre, le poids et la vitesse des trains. Elle fera tout ce qui est possible pour atteindre un haut degré d'activité de la voie avec la traction à vapeur. Si le trafic augmente toujours, il arrivera un moment où l'activité de la voie ne peut plus être poussée davantage avec la traction à vapeur. On sait que la traction électrique pourrait l'augmenter considérablement, mais on sait aussi que l'électrification coûte cher. On hésite; on cherche à détourner la difficulté d'une autre manière. On y arrive en construisant des voies additionnelles, d'abord à certains points seulement, pour faciliter la rencontre des trains, et plus tard sur tout le parcours de la ligne.

On aurait peut-être pu augmenter l'activité de la voie simple suffisamment en l'électrifiant, au lieu de la doubler, mais, dans la plupart des cas, ce procédé coûterait plus cher et " rapporterait „ moins, ce qui est une bonne raison pour ne pas le faire. Il en sera ainsi partout où la voie additionnelle est relativement simple et est peu coûteuse à construire. Il n'en serait pas ainsi, toutefois, en pays " accidenté „ ou " montagneux „ comme dans les Alpes, en Europe, et dans les Montagnes Rocheuses, en Amérique. La construction d'une voie additionnelle n'est plus alors une affaire aussi simple; au contraire, elle devient une

opération compliquée et coûteuse. Ces lignes ont un tracé très sinueux et " bouclé „, c'est-à-dire qu'elles font plusieurs " détours „ et ont de nombreuses courbes, souvent de rayon très court; et elles sont très " accidentées „ de profil, les rampes étant toujours nombreuses et souvent très longues et très fortes, sur presque tout le parcours. Les travaux de construction (déblai, remblai, terrassement, etc.), et les travaux d'art (ponts, tunnels, etc.) sont importants et coûtent relativement cher. Ce n'est pas tout: les courbes, les rampes et les tunnels imposent des limites sérieuses à l'activité des locomotives et de la voie, sur de telles lignes, parce que, même avec les locomotives les plus puissantes (comme, par exemple, les locomotives " doubles „ du type Mallet), il faut réduire beaucoup le poids des trains, et leur vitesse moyenne. L'activité de la ligne, c'est-à-dire la quantité totale de transport dont elle est capable (dans les deux directions) se trouve ici réduite, parce que : 1°, la voie, en raison des rampes et des courbes, exige un débit très fort de force motrice et d'énergie; 2°, la locomotive à vapeur atteint son débit maximum, soit, sa limite de puissance, sans pouvoir fournir la puissance nécessaire. Par contre, la traction électrique présente ici de grands avantages: 1°, son pouvoir de débit de puissance et d'énergie est pratiquement sans limites, étant donné que l'énergie à sa disposition est produite dans une " usine „ stationnaire, et de très grande puissance (au lieu d'une " usine „ mobile, et de puissance limitée, comme c'est le cas pour une locomotive); 2°, la locomotive électrique, tout en travaillant beaucoup plus fort, peut travailler beaucoup plus longtemps, par jour, que la locomotive à vapeur. Les qualités pratiques comprennent les suivantes: 1°, la locomotive électrique a beaucoup plus de " marge „ de puissance que la locomotive à vapeur pour faire des " coups de collier „ et des " tours de force „, en cas de nécessité; 2°, la locomotive électrique peut faire des " étapes „ beaucoup plus longues que la locomotive à vapeur; 3°, les poids des trains et les vitesses maxima praticables en rampe sont beaucoup plus élevés que pour les locomotives à vapeur; 4°, la locomotive électrique évite la perte de temps et les inconvénients que la locomotive à vapeur réalise par le fait du renouvellement fréquent qu'elle doit faire de sa provision de charbon et d'eau; 5°, la locomotive électrique est plus simple et plus facile à manœuvrer; 6°, elle exige moins de surveillance, de soins et de réparations; 7°, elle ne consomme

pas d'énergie et de matériaux d'aucune sorte, et elle n'exige aucune attention, quand elle n'est pas en marche ou en service.

En vertu de ces avantages et qualités (dont on pourrait encore beaucoup allonger la liste) la traction électrique se prête à une augmentation considérable des facilités de transport. Une augmentation plus ou moins grande des facilités de transport est possible et réalisable sur n'importe quelle ligne; mais, malheureusement, dans la plupart des cas, elle coûterait trop cher et ne rapporterait pas assez, c'est-à-dire que " le jeu ne vaudrait pas la chandelle „. Dans le cas des lignes de caractère exceptionnel que nous venons de détailler, l'augmentation de facilités est non-seulement plus grande, mais elle a plus d'importance, relativement, que sur les lignes qui ne présentent pas de conditions spéciales et difficiles. C'est pour cela qu'elle présente, alors, beaucoup d'intérêt et peut avoir beaucoup plus de valeur; car, bien qu'elle coûte encore cher, il se peut que, tout de même, elle coûte encore moins cher, et rapporte mieux, qu'aucun autre moyen pratique d'augmenter l'activité de la voie, notamment, moins que le doublement de la voie, ou la construction d'une voie additionnelle.

C'est toujours par la formule (*a*) que les résultats prévus, économiques et financiers, seront contrôlés.

Les cas que nous venons d'examiner sont ceux ou l'électrification " de grande ligne „ a le plus de chance de réussir. Ce sont des cas où elle s'impose déjà ou bien où elle s'imposera bientôt. La ligne des Giovi, en Italie, qui rentre dans cette catégorie, a déjà commencé. La ligne du St.-Gothard, en Suisse, commencera probablement avant longtemps. En Amérique, une section du Great Northern Railroad est déjà électrifiée depuis environ deux ans. Plusieurs autres lignes songent sérieusement à électrifier certaines sections de leurs réseaux, dans les Montagnes Rocheuses, à des endroits où la traction électrique semble indiquée, pour augmenter l'activité de la voie et éviter des engorgements de trafic sérieux. A certains points il arrive souvent, à cause des rampes et des tunnels, que les trains de marchandises doivent " faire la queue „ et attendre leur tour, quelquefois pendant des heures, avant de pouvoir se frayer un passage et se remettre en route.

Ce n'est seulement que sur les sections de grandes lignes où l'électrification est déjà devenue ou deviendra bientôt, pour ainsi dire, indispensable, qu'elle sera faite, pour commencer. Le

total des kilomètres où elle est ainsi " imminente „ représente une proportion bien faible du grand total. Sur la grande majorité des kilomètres des grandes lignes transcontinentales situées à l'ouest du Mississippi la traction à vapeur continuera longtemps encore à " coûter moins cher et rapporter mieux „ que la traction électrique. Leur source principale de revenus a toujours été, et est encore, le transport des marchandises, le transport des voyageurs étant, dans la plupart des cas, d'importance secondaire. Les trains de voyageurs ne sont pas, en général, assez nombreux pour " gêner „ la circulation des trains de marchandises, et la traction à vapeur peut fournir l'activité de voie nécessaire pour le trafic, encore pendant longtemps, même avec une voie simple, sur la plus grande partie des lignes, surtout où les tracés et profils ne sont pas trop mauvais.

A l'est du Mississippi les conditions sont différentes, et elles se rapprochent plus ou moins des conditions européennes. Le pays est plus peuplé et plus industriel. Les grandes lignes abordent et desservent un grand nombre de villes et de villages espacés sur leurs parcours. Le transport des voyageurs a ici beaucoup plus d'importance comme source de revenus. Les trains de voyageurs (" omnibus „ et " rapides „) sont plus fréquents. La plupart des lignes sont à voie double; et l'on trouve même des parcours considérables qui sont à trois ou à quatre voies. Ici, encore, cependant, dans la plupart des cas, c'est plutôt à cause du service de transport de marchandises que de celui de voyageurs que l'augmentation de facilités s'est réalisée. Beaucoup de compagnies insistent que le transport des voyageurs ne rapporte pas ou que peu. (Elles se servent souvent de ce prétexte pour refuser ou différer d'améliorer le service ou diminuer le tarife). Dans tous cas elles font toujours tous les efforts possibles pour retenir et augmenter la clientèle de transport de marchandises, même aux dépens du service des voyageurs. D'un autre côté, les tramways électriques dans les villes et villages ont trouvé intérêt à se prolonger dans la banlieue, d'abord, par des lignes " suburbaines „; et, plus tard, par la jonction de ces lignes, les lignes " interurbaines „ ont été créées. Ces lignes interurbaines ont démontré bien vite, et d'une manière frappante, que les quelques trains " omnibus „ mis à la disposition du public, et dont il lui avait fallu se contenter, jusqu'alors, sur les grandes lignes, pour le service " local „ ou " régional „, ne suffisaient pas pour " ramasser „ tous les

voyageurs. On s'aperçut bien vite qu'en rendant le voyage plus commode, plus facile, et plus bon marché, on incite le monde à voyager davantage. Les lignes interurbaines, en offrant au public voyageur un service plus fréquent, plus rapide, et moins cher, s'attirèrent bientôt une clientèle nombreuse. En conséquence elles se sont multipliées rapidement dans certaines régions, notamment dans les États de Pennsylvania, Ohio, Indiana et Illinois, où elles font actuellement une concurrence sérieuse aux grandes lignes, pour le transport des voyageurs, avec un service de tout premier ordre, comprenant des trains et voitures de toutes sortes (à wagon-lits, à salons réservés, à restaurants, à buffets, etc.). Ces lignes vivent principalement du transport des voyageurs. Le total de cette sorte de trafic, sur ces lignes (mesuré en " voyageurs-kilomètres „), est très élevé, en comparaison avec celui du service des voyageurs sur les grandes lignes traversant et desservant les mêmes localités. Pourtant, ces dernières, pour la plupart, prétendent avoir encore à peu près autant de ce trafic qu'auparavant. Il faut donc conclure que la traction électrique, sur les lignes interurbaines, a eu pour effet d'augmenter considérablement le volume total de transport des voyageurs.

Ce développement extraordinaire de réseaux électriques qui, pour ainsi dire, " marchent en parallèle „ avec des réseaux à vapeur, ne peut pas manquer d'avoir beaucoup d'influence sur la réalisabilité de l'électrification de ces dernières. Si elles avaient su le faire, au moment psychologique, les grandes lignes auraient pu, au moins dans bien des cas, prévenir la concurrence des lignes interurbaines. Il n'y a guère de toute que, en construisant elles-mêmes, comme voies " additionnelles „, les voies qui furent construites pour les lignes interurbaines, et en électrifiant le tout, elles eussent été en état de faire face à tous les besoins. Il est facile de démontrer que le capital total investi nécessaire pour réaliser une seule affaire " combinée „, capable de remplir toutes les conditions, et de fournir précisément les mêmes facilités, sous tous rapports, eût été moins de ce qu'il est actuellement pour les deux affaires, organisées, dirigées, et exploitées séparément, et se faisant concurrence, comme à présent; cela eût " coûté moins cher et rapporté mieux „. Les grandes lignes ont-elles, ainsi, par manque de prévoyance ou par excès de prudence et de conservatisme, perdu une bonne occasion ? Pour le savoir, il faudrait déterminer le " mérite

financier „ pour chaque cas, par la formule (*a*). Ce qui est assez évident, toutefois, c'est que les grandes lignes qui ont de la concurrence arriveront bien plus lentement que celles qui n'en ont pas au point où l'électrification deviendra " réalisable „ pour elles. Il y a, tout de même, un exemple intéressant d'une grande ligne qui s'est mise à l'œuvre à temps pour devancer les lignes interurbaines électriques et les rendre impossibles dans son champ d'exploitation. Il s'agit du réseau de la Long Island Railroad Company, qui couvre toute la grande île appelée " Long Island „ d'un bout à l'autre, c'est-à-dire depuis Montauk Point, à l'extrémité est, jusqu'à Brooklyn et Long Island City, à l'ouest. Ce réseau, qui appartient, depuis quelques années, à la grande compagnie du " Pennsylvania Railroad „, a environ 650 kilomètres de ligne, et 900 kilomètres de voie. La partie déjà électrifiée, qui est à voie double (environ 80 km. de ligne et 150 km. de voie) est celle qui rattache le réseau à la ville de New York et à la nouvelle gare centrale du " Pennsylvania Railroad „ située au centre même de la ville. Le lien de rattache avec cette gare est le nouveau tunnel passant sous le bras de mer (" East River „) qui sépare les îles Manhattan et Long Island. Il y a aussi des gares terminus importantes à Long Island City et à Brooklyn; et la partie électrifiée s'étend dans la banlieue à une distance considérable, réalisant une " zone électrique „ qui est capable d'une activité de voie extraordinaire, laquelle sera agrandie plus tard.

Les conditions sont ici beaucoup plus favorables à la traction électrique que sur une grande ligne ordinaire, pour la raison que c'est le transport des voyageurs qui fournit la plus grande partie du trafic et des revenus. Les statistiques de trafic mettent ce fait en évidence bien clairement. Pour l'année 1910, ce réseau, au point de vue des revenus bruts par mille de ligne, était à la dixième place, de tous les réseaux américains, son revenu brut étant de $ 28.873 par mille (soit, environ 87.000 fr. par kilomètre) de ligne, ou de route. Il n'y avait en tout que 22 réseaux dont les revenus dépassaient $ 20.000 par mille (environ 63.000 francs par kilomètre) de ligne. Ces 22 réseaux ont un total de 28.883 milles (46.213 km.) de ligne et 43.078 milles (68.925 km.) de voie. Les statistiques de trafic pour ces 22 réseaux les plus " productifs „ révèlent bien vite la situation exceptionnelle du réseau du Long Island Railroad, en démontrant que c'est le seul où le trafic comprend plus de " voya-

geurs-kilomètres „ que de “ tonnes-kilomètres „, — environ quatre fois et demie autant. Sur les autres 21 réseaux on trouve toujours plus de tonnes-kilomètres que de voyageurs-kilomètres, — de 2 à 65 fois plus, et, en moyenne, environ 17 fois plus; ce qui confirme l'opinion générale que les grandes lignes vivent plutôt du transport de marchandises que de celui de voyageurs. En cherchant plus loin, parmi les lignes qui ne font pas de si bonnes recettes, on trouve un autre réseau encore, et c'est le seul, qui est dans une situation analogue, à savoir, le West Jersey & Seashore Railroad; et, justement, ce réseau, qui appartient également à la compagnie du “ Pennsylvania Railroad „ est, lui aussi, électrifié en partie. Ce réseau (570 km. de ligne, et 790 km. de voie) figure parmi les meilleurs, bien que ses revenus bruts soient moins que ceux du Long Island Railroad. Son revenu brut, en 1910, était de $ 15.568 par mille (48.700 fr. par km.) de ligne, ce qui lui donnait la 33me place, dans un total de 39.280 milles (62.848 km.) de ligne. Sa place était plus haute que celle de plusieurs grands réseaux connus dans tout le monde, tels que, par exemple, l'Union Pacific, qui était à la 38me place, le Northern Pacific à la 43me, le Southern Pacific à la 44me, etc. Les statistiques de trafic pour ce réseau indiquent plus de trois fois autant de voyageurs-kilomètres que de tonnes-kilomètres.

On sait que c'est entièrement à cause du transport des voyageurs que les grands électrifications de terminus ont été “ imposées „. On s'est souvent fait illusion en croyant que l'électrification d'un terminus devait conduire forcément et rapidement à l'électrification de tout le réseau. En réalité, tout dépendra de l'activité de voie qui sera nécessaire sur les diverses parties du réseau. Il est évident que si les conditions de trafic et de service sont les mêmes d'un bout à l'autre de la ligne, l'électrification devenue nécessaire pour une partie de la ligne le sera en même temps pour tout le parcours. En Europe, où les lignes sont moins longues et où les conditions de service ne varient pas beaucoup sur les différentes parties de la même ligne, on peut s'attendre à voir avant longtemps des réseaux entièrement électrifiés d'un bout à l'autre. En Amérique, où les “ grandes „ lignes sont relativement plus longues, et où les conditions varient parfois beaucoup — dans certains cas énormément — sur les différentes parties de la même ligne, l'électrification peut être parfaitement “ réalisable „ sur une partie

de la ligne et absolument " impossible „ sur le reste de cette ligne.

En général, une électrification de terminus dans une grande ville, comme à New York, à Londres, à Paris, etc., comportera et comprendra toujours l'électrification, en même temps, d'une " zône de banlieue „ plus ou moins considérable. En effet, c'est principalement l'affluence énorme des personnes voyageant en tout temps et à toute heure, entre une grande ville et la banlieue, qui surcharge de trains les voies d'entrée et de sortie des grandes gares terminus et qui nécessite une si grande activité de service de traction et de voie dans la zône de banlieue. Au delà d'une certaine distance du terminus les trains de banlieue deviennent moins fréquents, et moins gênants pour les trains " de long trajet „. Il peut y avoir plus loin, sur le parcours de la ligne, des villes d'une certaine importance, qui ont aussi leurs " zônes de banlieue „ produisant un rehaussement local ou régional d'activité. Sans cela, il n'y aura guère autre chose que le service " au long cours „ pour utiliser la voie et maintenir son activité, dans la partie intermédiaire de la ligne. Si ce service est lui-même tellement chargé qu'il exige une très grande activité de service de traction et de voie, l'électrification peut être " réalisable „ aussi bien au milieu qu'aux bouts de la ligne. Elle présentera beaucoup d'intérêt, surtout lorsqu'elle permettra d'éviter la construction d'une voie additionnelle sur une partie considérable du parcours.

Dans certains cas, l'électrification complète, même si elle " coûte plus cher et rapporte moins „, au début, que l'électrification partielle, peut, néanmoins, se recommander, par la possibilité d'une augmentation considérable de revenus qui la justifierait et en ferait les frais au bout d'un certain temps.

Nous avons trouvé que, dans la plupart des cas, l'électrification " coûte trop cher et ne rapporte pas assez „. En réalité, le défaut n'est pas de " coûter trop cher „, mais plutôt " de ne pas rapporter assez pour ce que ça coûte „. De nos jours, où les grosses affaires ne font plus peur aux banquiers, et sont plutôt recherchées par eux, un gros capital investi n'est guère plus difficile à réaliser qu'un petit capital, pourvu qu'il soit démontrable que la grosse somme rapportera en proportion avec sa grosseur, ou davantage. Toutefois, puisque les dépenses " fixes „ augmentent en proportion avec le total du capital à

entretenir et à amortir, il faut bien, tout de même, que " ça ne coûte pas trop cher „.

Il est évident qu'une ligne de chemin de fer qui sera électrifiée en la construisant — comme, par exemple, celle du Mont Simplon, entre la Suisse et l'Italie — aura un grand avantage en comparaison avec une ligne existante, déjà équipée pour la traction à la vapeur, qu'il s'agirait d'électrifier — comme, par exemple, celle du Mont Cenis, entre la France et l'Italie. La première n'avait aucun matériel à mettre de côté, et aucune modification à faire nulle part, pour permettre l'électrification. La seconde, au contraire, devra prévoir: 1°, une perte de valeur considérable, en conséquence du matériel à mettre de côté; 2°, des frais de transformation considérables. Il arrivera donc que, dans le cas de l'électrification d'une ligne déjà équipée pour la vapeur, le capital à entretenir et à amortir, représenté par " C „ dans la formule (*a*), sera relativement plus grand que pour le cas de l'électrification d'une ligne nouvelle de même grandeur et de même caractère.

Le cas sera encore moins favorable pour la traction électrique si le capital nominal de la compagnie qui songe à l'électrification comprend des actions qui ont été " libérées sans argent „, à titre de récompense pour les organisateurs, ou plus souvent les réorganisateurs, de la compagnie, c'est-à-dire si, suivant l'expression américaine, l'on a " mis de l'eau dans les actions „. Cette " eau „, une fois entrée dans le " capital investi „, compte pour de l'argent, et, en conséquence, il faudra que l'affaire rapporte assez pour couvrir les dépenses " fixes „ qu'elle occasionne par sa présence, tout comme si c'était de l'argent. Il peut arriver qu'une affaire soit " non-réalisable „ en raison même de l'excès de capital " fictif „ qu'elle est tenue d'entretenir et d'amortir.

Il faut aller plus loin, cependant, pour trouver la grande difficulté. Le fait est que ce sont le matériel et l'équipement électriques eux-mêmes qui coûtent cher; et, contrairement à ce que l'on suppose généralement, l'équipement de la voie coûte, à lui seul, autant ou plus que le reste, sur une grande ligne. Ici, encore, l'activité de la voie a une importance bien grande. En réalité, le coût d'établissement, calculé par kilomètre de voie, n'est constant que pour seulement une partie de l'équipement, à savoir, la ligne de contact et les connexions électriques des rails. Ces parties seront les mêmes partout; et leur coût sera

indépendant de l'activité de la voie. Le coût de tout le reste sera plus ou moins variable, en fonction de l'activité de la voie. C'est précisément là où l'activité de la voie est la plus grande que l'on devra employer plus de locomotives ou d'automotrices, par kilomètre de voie; en conséquence de cette activité, c'est là aussi où le débit d'énergie électrique sera le plus fort; et les sous-stations de transformation ou de distribution électriques devront être puissantes et plus rapprochées ici qu'ailleurs; et les feeders qui alimentent cette partie de la ligne de contact et de la voie devront être plus gros que pour les parties de voie moins actives; et, enfin, il faudra, à l'usine génératrice électrique, pourvoir plus de puissance, en kilowatts par kilomètre de voie, ou de ligne, que pour les autres parties de la ligne.

Nous considérons ici le système de distribution électrique (comprenant les feeders, sous-stations, etc.) comme formant une partie intégrale et inséparable de l'équipement de la voie; et nous attribuons à chaque partie de la voie, ou de la ligne, la proportion de puissance d'alimentation électrique qu'elle rend nécessaire par son activité. C'est de cette manière seulement que l'on pourra déterminer le coût relatif de l'électrification pour une " zône de terminus „ et pour une " zône intermédiaire „.

Une locomotive électrique coûte plus cher qu'une locomotive à vapeur; mais il ne faut pas tant de locomotives électriques que de locomotives à vapeur, pour la même activité de voie, pour les raisons que nous avons déjà notées. L'électrification de terminus du New York Central Railroad, à New York, fournit un exemple frappant de l'activité phénoménale dont la locomotive électrique est capable. La partie déjà électrifiée comprend 48 milles (76,8 km.) de ligne, et 182 milles (291,2 km.) de voie. (La ligne est à 4 voies presque partout). Les départs et les arrivées de trains sont, en moyenne, de 500 par jour, et ils atteignent parfois 550 par jour. Ce service est fait par un total de 47 locomotives électriques. Or, ces locomotives sont toujours toutes en service. Il n'y a aucune locomotive de réserve; et le besoin ne s'en est jamais manifesté. Quant à la proportion du coût total d'équipement représentée par les locomotives, ici, elle est difficile à préciser, pour la raison que l'électrification est encore loin d'être complète, et que les deux stations génératrices (chacune de 20.000 kilowatts de puissance nominale), ainsi que les feeders, les sous-stations, etc., sont prévus pour une activité de voie encore bien plus grande. (Les trains de

marchandises marchent encore à la vapeur). A présent, le débit maximum des deux usines génératrices ensemble n'est que d'à peu près la moitié de la puissance totale disponible. On peut voir bien vite, par un calcul approximatif cependant, que le coût total des locomotives électriques ne constitue qu'une partie relativement faible du coût total de l'équipement entier. Le total dépensé jusqu'à présent pour cette électrification est estimé à $ 15.000.000 (75.000.000 de francs). Déduisons un tiers pour ce qui n'est pas encore utilisé; il reste $ 10.000.000 (50.000.000 de francs). Les 47 locomotives électriques ont coûté environ $ 34.000 chacune, soit, en tout, $ 1.600.000 (8.000.000 de francs), c'est-à-dire seulement la sixième partie du coût total.

Dans une " zône intermédiaire „, loin des terminus, l'on aura un minimum d'activité de voie; il y aura moins de locomotives; et le débit d'énergie électrique maintenant moins fort nécessitera moins de puissance génératrice, et, en même temps, moins de dépense pour les feeders et les sous-stations. Par contre, le coût de la ligne de contact et des connexions électriques pour les rails restera constant. Comme résultat général, nous trouverons que, ici encore, le matériel de traction (les locomotives et les automotrices) coûte moins cher que l'équipement électrique de la voie et ses accessoires.

C'est dans une zône de terminus où le trafic est intense, comme dans celle du New York Central Railroad, à New York, que le débit d'énergie par kilomètre de ligne (ou de voie) sera le plus élevé; et c'est dans les zônes intermédiaires, loin des zônes terminus, qu'il sera le plus bas. Cette zône, lorsqu'elle sera complétée, aura, en tout, environ 70 milles (112 km.) de ligne, et 240 milles (384 km.) de voie. La puissance totale (nominale) des deux usines génératrices destinées à l'alimentation électrique de cette zône est de 40.000 kilowatts, ce qui correspondra, à plein régime, à un débit maximum (nominal) de 571 kilowatts par mille (357 kw. par km.) de ligne, et à 167 kilowatts par mille (104 kw. par km.) de voie. Le débit moyen actuel variera naturellement beaucoup, suivant les conditions d'exploitation et de service, tout comme le facteur de charge, et dans la même proportion; et on l'obtiendra, évidemment, en multipliant le débit nominal par le facteur de charge. Ainsi, en supposant que le facteur de charge, durant une période de temps quelconque, soit de 0,60, le débit moyen actuel d'énergie électrique fournie à la voie sera égal à 60 pour cent du débit maximum nominal.

Le débit d'énergie électrique sur les zônes où l'activité est minima, est, pour le moment, difficile à préciser, à cause du manque de données exactes. Une estimation de débit moyen a été donnée par MM. Stillwell et Putnam, ingénieurs-électriciens, de New York, dans leur mémoire sur l'électrification " générale „ des chemins de fer américains. (Voir les Comptes Rendus de l'American Institute of Electrical Engineers, Tome XXVI, 1907, Part I, page 83). En se basant sur l'hypothèse ou la supposition de l'électrification complète de toutes les lignes américaines en existence à l'époque considérée par eux (1905), ces messieurs estiment que le débit moyen de puissance électrique serait seulement de 10 kilowatts par mille (6,25 kw. par km.) de ligne, et de 7 kilowatts par mille (4,38 kw. par km.) de voie. Puisque ces chiffres représentent des valeurs moyennes, les valeurs minima devraient donc être encore plus basses. Il y a lieu de croire, cependant, que ces valeurs sont trop basses même pour les valeurs minima, pour les grandes lignes où l'électrification est réellement " réalisable „, au lieu de ne l'être qu'en apparence seulement. Il est plus que probable — il est à peu près certain — que l'électrification est " non-réalisable „ sur au moins 80 pour cent, sinon 90 pour cent, des grandes lignes, à cause du manque " d'activité „ dû au manque de trafic. L'hypothèse d'une électrification complète de toutes les lignes ne semble donc pas bien justifiée, n'étant pas du tout réalisable à présent ou même dans un avenir très distant; et les données basées sur une telle hypothèse semblent être d'utilité pour le moins fort douteuse. Pour trouver des données raisonnables et plus probables il faudra commencer par rejeter au moins 80 pour cent de toutes les lignes, celle où l'électrification n'a pas la moindre chance de réussite; en un mot, il faudra prendre en considération seulement les cas où l'électrification est actuellement réalisable; et ceux-ci donneront sûrement des débits électriques moyens et minima beaucoup plus élevés que ceux que nous venons de citer.

Même en se basant sur des activités de voie bien faibles on peut encore arriver à des coûts totaux d'établissement, pour l'équipement de la voie, qui feront sûrement peur aux grandes compagnies. On trouve des chiffres de ce genre dans un article de M. Thomas Conway, Jr., de Philadelphia, sur " l'électrification des chemins de fer américains „, publié dans les Annales de l'Academy of Political and Social Science (Tome XXIX, N. 2,

Mars 1907, pp. 22-30). Dans cet article, publié quelques semaines après le mémoire de MM. Stillwell et Putnam, on retrouve l'hypothèse de l'électrification complète de tous les chemins de fer américains; mais, cette fois, elle est examinée et discutée du point de vue de l'économiste et du financier. Disons tout de suite que, à ce point de vue, M. Conway a trouvé, lui aussi, que l'électrification " générale „ " coûterait trop cher et ne rapporterait pas assez „. Les chiffres donnés par M. Conway se rapportent à l'année 1905, comme dans le mémoire de MM. Stillwell et Putnam, et sont en partie empruntés de ce mémoire.

Le nombre total de locomotives à vapeur en Amérique, en juin 1905, était de 48.357. Le coût moyen est placé à $ 12.000 par locomotive, ce qui donne un total de $ 580.284.000. Étant donné que l'on renouvelle une partie de ces locomotives chaque année, M. Conway suppose la possibilité de les remplacer, à mesure qu'elles deviennent " usées „, par des locomotives électriques, en sorte que, au bout d'une période d'années, quand l'électrification sera complétée, toutes les locomotives seront électriques. Cette transformation graduelle permettra d'éviter une augmentation de capital investi pour les locomotives, puisque l'on n'aura fait, en définitif, qu'un " renouvellement „. Les locomotives électriques peuvent coûter plus cher, mais il n'en faudra pas tant. M. Conway suppose donc, ce qui est très favorable pour l'électrification, qu'il n'y aura pas de perte de valeur due au matériel de traction mis de côté et remplacé par le matériel électrique. La ligne de contact est estimée à $ 5.000 par mille de voie. Le total des milles de voie étant de 216.974, en 1905, il résulte que le coût total de la ligne de contact serait de $ 1.084.870.000. Les connexions pour les rails, à raison de $ 500 par mille de voie, coûteront, en tout, $ 108.487.000. Pour le débit d'énergie électrique total, M. Conway s'en rapporte aux chiffres de MM. Stillwell et Putnam. Les usines génératrices sont supposées avoir une puissance totale de 2.800.000 de kilowatts, et coûter $ 400.000.000. Les systèmes de distribution sont estimés à $ 220.000.000. Les totaux sont comme suit:

Ligne de contact	$ 1.084.870.000
Connexions de rails	108.487.000
Usines génératrices, etc. . .	400.000.000
Systèmes de distribution, etc.	220.000.000
Total	$ 1.813.357.000

Ce capital représente le capital nouveau qu'il faudrait dépenser pour l'électrification complète de toutes les lignes américaines. M. Conway estime que l'amortissement et le maintien de l'équipement sera, en moyenne, de 10 pour cent du total, soit, $ 181.335.700 par an. Suivant MM. Stillwell et Putnam, l'électrification générale devrait produire une économie de $ 250.000.000 par an. Après déduction de l'amortissement, il reste $ 68.665.000 comme bénéfice net. Mais, pour réaliser ce bénéfice net il faudrait augmenter le capital investi de pas moins de $ 1.800.000.000 et peut-être de $ 2.000.000.000. Même en prenant le taux d'intérêt relativement faible de 4 pour cent, il faudra augmenter les dépenses " fixes „ de $ 72.000.000 à $ 80.000.000 par an, c'est-à-dire plus que le montant des bénéfices nets. La perspective n'est donc pas bien brillante pour l'électrification " universelle „. M. Conway fait, à ce propos, des observations et des commentaires qui semblent assez justifiées et justes. En voici quelques lignes :

" Il semble donc très peu probable, à présent, que la traction " électrique soit employée, excepté sous des conditions spéciales " et lorsque le trafic est très fort. Nos chemins de fer ne sont " encore, pour la plupart, qu'à moitié développés. Il faudra des " années pour que leur trafic devienne suffisamment dense pour " justifier les frais d'électrification „.....

....." La traction électrique a fait beaucoup de progrès et a " démontré sa supériorité partout où il existe des conditions " extraordinaires et où la densité de trafic est très grande. Nous " sommes encore loin, cependant, de l'adoption universelle de " la traction électrique. Ce n'est que lorsqu'un meilleur système " de transmission de force motrice aura été réalisé ou bien " lorsque le trafic sur nos chemins de fer sera devenu bien plus " dense que nous pourrons espérer de la voir adopter généra- " lement „.

Les résultats seraient beaucoup plus favorables pour un programme d'électrification moins ambitieux, d'où l'on aurait préalablement exclus tous les cas " douteux „ et " non-réalisables „. Les chiffres rapportés ci-dessus présentent, toutefois, un certain intérêt, parce qu'ils mettent en relief la relativité des coûts d'établissement des diverses parties de l'équipement pour la traction électrique. En ajoutant le coût total des locomotives électriques au total déjà trouvé nous aurons un grand total du coût de tout le matériel et l'équipement électriques, soit $ 2.393.641.000.

Les proportions de ce coût total sont, en chiffres ronds, les suivantes:

Locomotives	24	pour cent
Ligne de contact . .	45	„ „
Connexions de rails .	5	„ „
Sous-Stations, etc. . .	9	„ „
Usines et Feeders . .	17	„ „
Total	100	

La " morale „ de ce tableau est évidente en même temps qu'elle est très édifiante. On voit que l'équipement électrique de la voie toute seule, c'est-à-dire la ligne de contact et les connexions des rails, représente la moitié du total; et, si l'on y ajoute les sous-stations, nous aurons 59 pour cent pour la voie et ses accessoires. Les locomotives comptent pour 24 pour cent du total, c'est-à-dire moins de la moitié de ce que coûte la voie et ses accessoires.

Ce tableau devient encore bien plus édifiant et instructif lorsque nous posons la question suivante: " Où peut-on et où faut-il économiser, pour réduire le coût total d'équipement pour la traction électrique? „. Voici la réponse: " C'est principalement sur l'équipement de la voie „. On pourra peut-être (et il faut l'espérer) réduire le coût des locomotives et des usines génératrices; mais ces réductions seront peu importantes et elles portent sur un total qui est petit en comparaison avec le reste. C'est dans l'équipement de la voie que l'on devra économiser; et c'est là, précisément, qu'il semble possible de faire le plus de progrès à l'avenir.

Conclusion.

L'auteur avait dit, en commençant, qu'un moteur n'est, en somme, qu'un détail de la solution du problème de l'électrification, et que les ingénieurs-électriciens, voyant le moteur de trop près, lui donnent une importance exagérée. Il croit avoir amplement justifié ces observations, d'autant plus qu'il a pu, pour ainsi dire, discuter toute la question de l'électrification des grandes lignes " de fond en comble „, sans cependant avoir été obligé de s'arrêter en route pour comparer et assortir les

différents systèmes de traction ou de moteurs électriques, c'est-à-dire sans avoir eu à prendre parti ni pour un côté ni pour un autre dans l'éternelle " bataille des systèmes „. Il croit avoir démontré que l'on n'a pas assez étudié la voie elle-même, sous bien des rapports; qu'elle mérite beaucoup plus d'attention qu'elle n'en a reçu jusqu'à présent; qu'elle présente des conditions, des considérations et des problèmes de la plus haute importance qui ont été trop souvent négligés. Il croit avoir fait voir clairement, entre autres choses, que l'activité et le coût d'équipement de la voie sont des choses de la plus haute importance — en somme, des " facteurs péremptoires „ —, qui, à elles seules, ont souvent décidé, et décideront encore souvent à l'avenir, du sort de beaucoup de projets d'électrification. Il désire, en conclusion, formuler une autre observation, qui porte sur le choix de système de traction, et qui est la suivante: en choisissant un système de traction, il y a lieu d'examiner bien plus soigneusement l'équipement de voie, que le moteur, que ce système comporte. On a pu voir, par ce qui précède, que l'équipement de la voie pèse plus que le matériel de traction, c'est-à-dire que le moteur, dans la balance de l'économiste et du financier. Un système de traction électrique peut se recommander et peut être choisi autant, ou même davantage, à cause des bonnes conditions d'équipement de voie qu'il présente que des avantages et des mérites du moteur et de ses accessoires.

Il convient de noter que beaucoup de circonstances qui sont, parfois, inaperçues au premier abord, peuvent intervenir — même comme facteurs péremptoires — dans le choix de système. Ainsi, par exemple, la fréquence peut déterminer le choix entre le courant continu et l'alternatif, dans certains cas, en Amérique. La fréquence réglementaire, pour les grandes usines génératrices qui vendent l'énergie électrique, est de 60 périodes par seconde. Cette fréquence est la plus commode parce qu'elle permet l'emploi du même courant pour l'éclairage et pour la force motrice. Or, beaucoup de lignes de chemins de fer électriques achètent aux stations centrales leur provision d'énergie électrique. Une fréquence de 60 périodes étant trop haute pour les moteurs monophasés, il faudra, aux sous-stations, introduire des appareils rotatifs pour " changer la fréquence „. Les sous-stations monophasées se trouveraient donc, en conséquence, sur le même pied que les sous-stations à courant continu, puisqu'elles auraient maintenant besoin de surveillance régulière; et le système per-

drait ainsi un de ses grands avantages. Cette raison a été avancée dans certains cas, et elle a compté pour beaucoup dans le choix du courant continu.

Cet exemple est mentionné exprès, avant de terminer, pour montrer que chaque problème peut présenter des conditions toutes particulières, ou exceptionnelles, capables d'influencer plus ou moins arbitrairement ou " péremptoirement „ une décision ou un choix que l'on s'attendait pouvoir faire librement, sans aucune restriction ou aucune contrainte. Il est de notre devoir, comme ingénieurs, d'avoir l'esprit ouvert tout autant que les yeux, en toute occasion, afin de pouvoir assortir et peser les divers facteurs d'un problème et établir la distinction entre ceux qui ont le plus d'importance et ceux qui en ont le moins, — entre ceux qui sont " péremptoires „ et nous forcent la main, et ceux qui se laissent modifier et adapter plus ou moins docilement.

LA LIGNE DE PRISE DE COURANT

dans les chemins de fer électriques.

Rapporto sul Tema N. 15 del Congresso.

Relatore M. GUSTAVE L'HOEST

Directeur d'Administration au Ministère des Chemins de fer, Postes & Télégraphes de Belgique.

Des multiples moyens d'adduction du courant qui ont été successivement introduits dans la technique des tramways et des suburbains électriques, la traction sur chemins de fer n'a utilisé que la ligne aérienne, dont les dispositions ont d'ailleurs dû être complétées pour répondre aux exigences plus rigoureuses que l'intensité du courant, sa tension et la vitesse des trains imposent.

Concurremment avec la ligne aérienne, la prise de courant sur les chemins de fer est réalisée par le troisième rail, dispositif inappliqué aux tramways, parce qu'il exige un siège spécial. Très généralement adopté dans les premières installations de chemins de fer électriques, souvent encore il est préféré pour des exploitations peu étendues, notamment pour les métropolitains. C'est ce moyen tout spécial au chemin de fer que nous examinerons d'abord.

Prise de courant par troisième rail.

En raison de la difficulté de son isolement et de ce qu'il expose les personnes à des contacts avec lui, le troisième rail

n'est admissible que pour les distributions à tension modérée. En fait, on ne l'alimente que par du courant continu, à 500, 700 ou 800 volts, tension qu'on a pu élever récemment à 1200 volts par des perfectionnements apportés à l'isolement et à la protection du conducteur.

Des arrangements variés ont été donnés aux prises de courant par troisième rail. Pour l'examen de leurs avantages et de leurs inconvénients, il suffit de les classer en systèmes à contact supérieur et en systèmes à contact inférieur.

Troisième rail à contact supérieur. — Dans cette disposition, la plus ancienne et de beaucoup la plus répandue, le rail en acier doux est posé sur des blocs de bois imprégnés de paraffine, de bitume ou créosotés, ou mieux sur des isolateurs de grès artificiel, de caoutchouc durci ou de porcelaine, établis sur les traverses de la voie. Le troisième rail est aligné soit suivant l'axe de cette voie, soit en dehors et parallèlement aux rails de roulement.

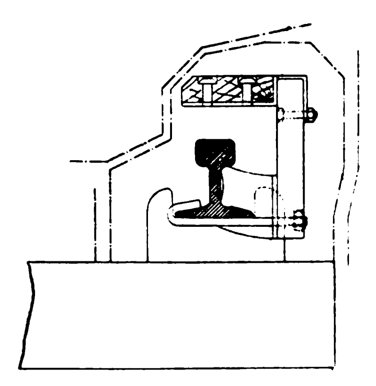


Fig. 1. — Troisième rail debout.

La disposition axiale est évidemment la moins recommandable, car elle expose davantage le personnel à des contacts dangereux. L'étroitesse de certains gabarits a cependant nécessité son emploi, particulièrement en Angleterre.

Posé en dehors de la voie, le troisième rail présente cet inconvénient à un moindre degré : la ligne de contact ainsi établie a de plus l'avantage de pouvoir être placée indifféremment du côté extérieur des voies ou du côté de l'entre-voie, ou encore être formée de tronçons successivement disposés à gauche et à droite d'une même voie; comme les tracteurs sont munis de frotteurs des deux côtés, il est possible de maintenir l'alimen-

tation du côté de l'entre-voie, quand le troisième rail doit être interrompu à l'extérieur et vice-versa; il en résulte une certaine facilité de pose aux abords des appareils spéciaux de la voie.

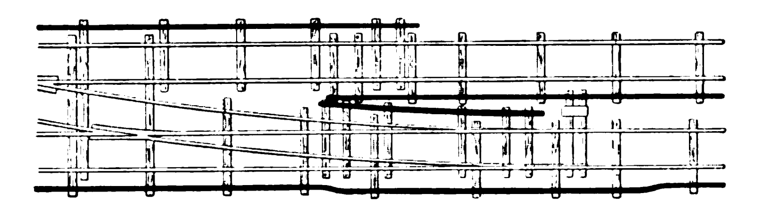


Fig. 2. — Troisième rail disposé de part et d'autre des voies à un aiguillage.

A chaque extrémité des tronçons, la surface supérieure du rail s'incline pour recevoir les frotteurs et les amener progressivement au niveau normal.

Les barres d'un même tronçon sont reliées entre elles par des bounds analogues à ceux qu'on utilise pour les voies de tramways. Lorsque les rails de roulement servent de conducteurs de retour, ce qui est généralement le cas, ils sont pourvus des mêmes liaisons; en Angleterre, il est fait souvent usage d'un quatrième rail, qui, spécialement destiné au retour du courant, porte les connexions qui assurent ce retour.

Le courant est amené au troisième rail par des câbles souterrains aboutissant, en chaque point d'alimentation, à une boîte terminale voisine du rail et solidement fixée au sol; de cette boîte partent des bouts de câble souple qui achèvent la connexion au rail conducteur.

La même disposition relie entre eux les tronçons de troisième rail, aux endroits où la prise de courant passe d'un côté de la voie à l'autre. On protège souvent les câbles souterrains de ces connexions (jumpers) par une enveloppe en tube de fer.

Pour prévenir les accidents de personne, on dispose parallèlement et près du troisième rail, des lattes en bois préparé, qui forment comme une auge continue, ouverte par le haut et par le bas; cette protection est complétée dans les gares par une toiture en bois, suffisamment écartée du rail pour que le frotteur puisse s'engager dans l'intervalle et prendre contact avec le conducteur.

Aux passages à niveau, le troisième rail est interrompu, mais

on peut souvent écarter suffisamment les frotteurs extrêmes, pour que celui d'avant soit déjà réengagé sur le tronçon suivant, lorsque le frotteur d'arrière quitte le tronçon précédant le point d'interruption.

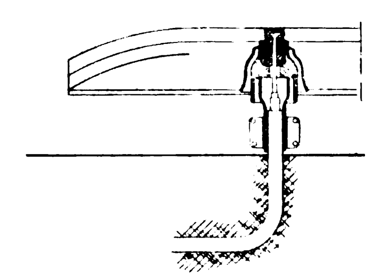


Fig. 3. — Jumper.

La composition des aciers servant à la fabrication des troisièmes rails, est naturellement faite en vue de leur donner une grande conductibilité. Différentes formules sont employées à cette fin; voici les doses moyennes des éléments associés au fer:

	Pour 100
Carbone	0.05 à 0.08
Soufre	0.05 à 0.08
Manganèse	0.3 à 0.5
Phosphore	0.07 à 0.1
Silice	0.01.

La résistivité est d'environ 10 microhms-centimètre.

Les avantages du troisième rail droit résident surtout dans sa solidité, sa robustesse et dans le fait qu'il permet de collecter sans étincelles des courants de très grande intensité; les frotteurs peuvent en effet être multipliés à suffisance et sans qu'il en résulte une fatigue exagérée pour le système. Son entretien n'exige pas l'emploi de tours roulantes nécessaires dans le cas des lignes aériennes; il se fait donc sans encombrement des voies. Enfin, à l'inverse des conducteurs aériens, il n'exige pas ces rangées de poteaux de support qui nuisent à la perception nette des signaux de la voie.

Par contre, on reproche à cette ligne de contact les nombreux accidents de personne auxquels elle a donné lieu et les inter-

ruptions de service qui résultent des chutes abondantes de neige ou de la production du verglas.

L'entretien des protections en bois est assez dispendieux. Les travaux à la voie de roulement sont gênés par la présence du troisième rail et des connexions des rails de roulement; le déchargement des matériaux nécessaires à ces travaux doit se faire avec des précautions auxquelles les agents de la voie ne sont pas accoutumés.

On a objecté aussi la difficulté d'isolement, mais cela ne peut viser que les installations utilisant des isolateurs de qualité inférieure, tels que les blochets en bois préparé. Assis sur de bons isolateurs, le troisième rail ne laisse fuir, paraît-il, que 0.1 à 0,15 ampère par kilomètre.

Les inconvénients des courants vagabonds ne sont pas aussi marqués que dans le cas des tramways, le ballast des voies étant plus perméable que le sol des rues, et partant moins conducteur; ils existent néanmoins, surtout lorsque les trépidations des rails de roulement dans un ballast trop élastique font lâcher les connexions de rail.

C'est pourquoi en Angleterre on fait usage d'un quatrième rail axial, dont la seule fonction est de ramener le courant à l'usine; on évite du même coup les difficultés d'entretien des rails de roulement, qui sont alors débarrassés des bounds.

Les défauts du système, qui viennent d'être énumérés, sont bien réels et cependant, la plupart des exploitations qui font usage du troisième rail ne songent nullement à l'abandonner. Bien plus, de nouvelles applications sont encore réalisées et cela prouve combien les avantages sont appréciés dans des conditions déterminées.

Troisième rail à contact inférieur. — On a d'ailleurs amélioré très sensiblement la protection des personnes contre les contacts avec le rail et celle du conducteur lui-même contre les amas de neige et le verglas, en faisant porter les frotteurs sur la face inférieure du rail. C'est ce qu'on a appelé assez improprement le *rail renversé.*

Dans cette disposition, le conducteur, toujours latéral, est suspendu à des consoles métalliques installées sur des traverses de la voie, lesquelles sont prolongées à suffisance, ou même sur des saillies des ouvrages d'art.

Le rail conducteur est généralement placé à une distance horizontale de 650 à 800 mm. de la face interne du rail de roule-

ment le plus voisin ; il est surélevé, par rapport à ce dernier, de manière à ménager, entre le plan de contact du conducteur

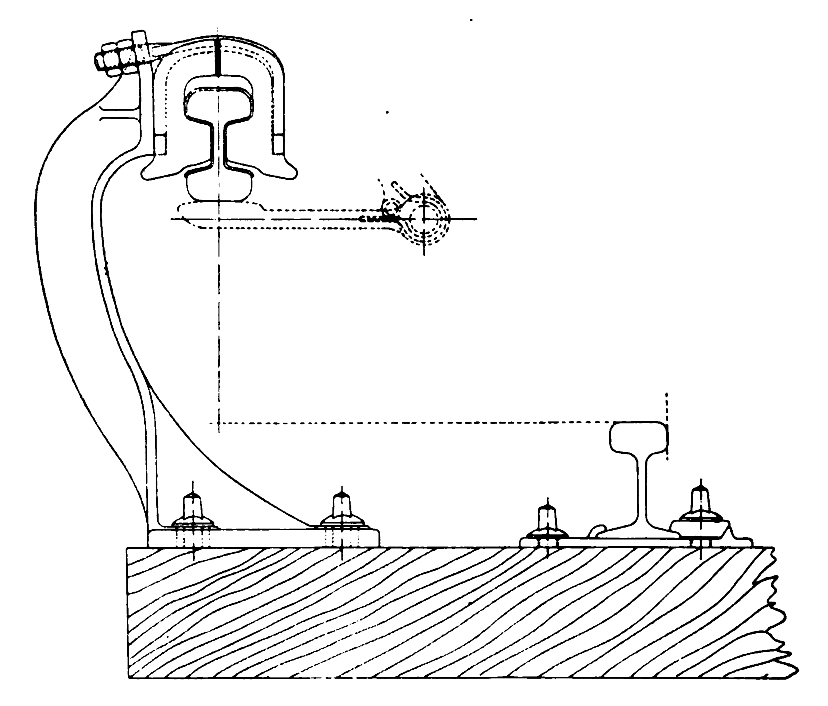


Fig. 4. — Troisième rail renversé (Hambourg).

et la face supérieure du rail de roulement, une distance verticale qui varie d'une exploitation à une autre, mais qui, en Amérique, est comprise généralement entre 70 mm. et 150 mm. Sur

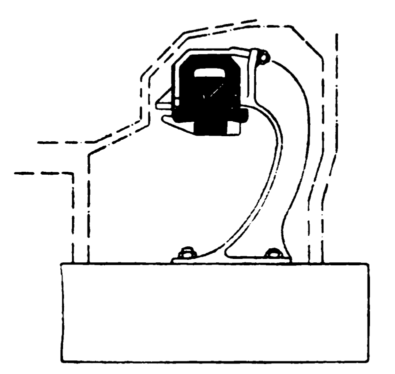


Fig. 5. — Troisième rail du New-York Central Rd.

le chemin de fer surélevé de Hambourg, grâce à un gabarit exceptionnellement large, on a pu prendre respectivement 470 mm. et 240 mm.

A l'endroit de son attache aux consoles, le troisième rail est couvert par deux demi-isolateurs en grès vitrifié ou en porcelaine, qui ne laissent à découvert que la face inférieure. Le joint des demi-isolateurs est vertical et rendu étanche par un intercalaire imperméable. Un des blocs s'applique très exactement sur la face de la console; l'autre est serré par une sorte de boulon à marteau fixé à la console. Parfois un joint de feutre est interposé entre l'isolateur et les parties métalliques. Dans l'espace compris entre deux consoles, le rail conducteur est couvert d'un fourreau isolant en bois, qui le couvre entièrement, à l'exception de la face inférieure; cette protection est même doublée lorsque la tension est élevée.

Certains constructeurs insèrent entre le troisième rail et sa protection de bois, des blochets en bois imprégné de goudron, afin d'augmenter l'isolement de la protection.

Comme pour le rail droit, on fait précéder chaque tronçon de rail renversé de plans inclinés en fonte, qui abaissent progressivement les frotteurs au niveau du contact normal.

Le rail renversé est incontestablement supérieur au rail droit au point de vue de l'isolement, de la protection contre les risques d'accident aux personnes et de la garantie contre les interruptions dues à la neige et au verglas. Il lui est cependant inférieur sous le rapport de l'encombrement et cette infériorité en rend l'application bien difficile, sinon impossible, sur les lignes à gabarit étroit, comme on en rencontre en Angleterre.

Quelques perfectionnements qu'on apporte à la construction du troisième rail, droit ou renversé, on ne peut employer cette prise de courant pour les hautes tensions adoptées aujourd'hui sur les lignes d'une certaine étendue, et c'est surtout pour ces lignes qu'on a recherché d'autres dispositions pour le conducteur de prise de courant.

Lignes aériennes monopolaires.

Nous l'avons dit, la construction un peu simpliste des lignes aériennes de tramway répond le plus souvent aux exigences des chemins de fer d'intérêt local, mais ne pourrait être appliquée

telle à l'électrification des chemins de fer proprement dits, en raison de la grande vitesse de marche, de l'importance du courant à collecter ou de l'élévation de la tension. Les conditions particulières de construction qui sont généralement requises pour ces lignes peuvent être énoncées comme suit:

1° Le conducteur sera maintenu pratiquement horizontal à toutes les températures du lieu, afin qu'au passage de l'appareil capteur il ne se produise pas d'arcs; des arcs seraient en effet particulièrement nuisibles aux grandes intensités ou aux voltages élevés qu'il faut employer;

2° L'ensemble de la construction doit être très robuste et stable, car, aux vitesses usitées, un arrachement de la ligne exposerait à de sérieux dangers et, en tout cas, à une interruption du trafic;

3° Comme il faut franchir en vitesse des appareils de changement et de traversée de la voie, la ligne aérienne ne peut comporter d'aiguillage à manœuvrer; cette condition exclut naturellement le trolley. En fait, l'archet, le pantographe et, exceptionnellement, l'antenne d'Oerlikon sont les seuls appareils capteurs usités;

4° Il faut encore que la ligne de contact présente de la fixité dans le sens horizontal, non seulement pour éviter que, par un balancement excessif, elle échappe par le côté de l'archet, mais encore pour qu'en prise avec l'appareil capteur, elle conserve la disposition en zig-zag nécessaire à l'usure régulière de l'archet;

5° Lorsqu'on fait usage de courants à haute tension, il est actuellement de règle d'adopter le double isolement. Il faut choisir pour les isolateurs une matière à haut isolement et une forme rationnelle;

6° La plupart des constructeurs estiment qu'une certaine flexibilité dans le sens vertical doit être donnée au fil de contact.

Horizontalité de la ligne de contact. — Pour maintenir dans toutes ses parties un conducteur élastique à une hauteur uniforme au-dessus du plan de la voie, on en multiplie les points de suspension; dans des montages particulièrement soignés, on lui applique souvent un dispositif de compensation qui donne au fil une tension mécanique constante, aussi élevée que le permet la section et la nature du métal employé.

La suspension *caténaire* imaginée pour réduire les portées du

fil de contact, est un ensemble funiculaire constitué par un câble porteur à forte flèche, un conducteur à flèche minime placé au-dessous et des pendules espacés généralement de 3^m à 10^m suspendant le second au premier.

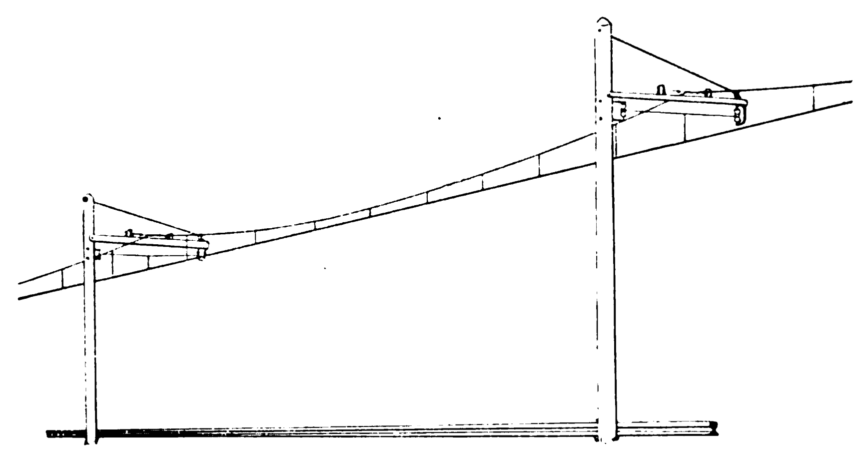


Fig. 6. — Suspension caténaire simple.

La portée du câble porteur est de 50^m, 70^m et même 100^m, en alignement droit; malgré l'étendue du cette portée, on n'applique presque jamais à ce câble de système compensant les effets de la variation de la température, l'importance de la flèche de pose rendant ces effets peu sensibles. On sait en effet que l'accroissement de la flèche résultant d'un accroissement donné de la longueur de la chaînette est, pour une portée déterminée, inversement proportionnel à la valeur de la flèche:

$$\frac{df}{dl} = \frac{3a}{16f}$$

f, la flèche; l, la longueur; a, la portée.

D'ailleurs, en équilibrant par contrepoids un câble à forte flèche tendu sur plusieurs supports sans fixation intermédiaire, on l'exposerait à des déréglages importants sous l'effet des causes variées qui le feraient glisser sur les supports. L'intensité de l'effort qui ramène les chaînettes successives à une même flèche, lorsqu'une cause quelconque a troublé l'équilibre du système, diminue rapidement lorsque la flèche augmente. L'équilibre deviendrait même instable pour une pose où la longueur

du câble atteindrait les $^4/_3$ de la portée. Sans doute ce n'est pas le cas des câbles porteurs utilisés dans les caténaires, mais la flèche y est cependant assez grande pour que le retour à une pose correcte ne soit plus assuré avec assez d'énergie.

Le câble porteur et les pendules sont d'acier ou de bronze silicieux. L'attache des pendules se fait, sans soudure, au moyen de pinces; le conducteur est profilé en 8, afin que les pinces laissent bien dégagée la face inférieure du fil, sur laquelle frotte l'archet.

Le câble porteur est seul attaché aux supports de la ligne.

Le fil de contact passe sous les traverses ou consoles qui soutiennent le fil porteur, sans y prendre attache; toutefois, il est fixé à chaque extrémité de section à des supports plus robustes qui portent les interrupteurs de section.

Dans certaines suspensions caténaires, le fil de contact est soutenu par deux câbles porteurs semblables et posés parallèlement; les pendules fixés à ces câbles descendent obliquement et se joignent par deux à leur attache au conducteur. Ces pendules rigides (New-York, New-Haven et Hartford Rd.) ou souples (London, Brighton Ry) forment parfois avec un tirant qui joint leurs extrémités supérieures, des triangles renversés.

Un dispositif très en faveur est celui que Siemens-Schuckert a appliqué successivement, en le perfectionnant, aux lignes de Rotterdam à La Haye, de la banlieue de Hambourg, de la Wiesental, de Dessau-Bitterfeld, etc., etc. Dans ce système, qui sera décrit plus loin, le câble porteur soutient par des pendules assez espacés un câble auxiliaire qui, à son tour, porte le fil de contact, à l'aide de pendules courts et rapprochés. L'horizontalité du conducteur ainsi assurée par un grand nombre de points de suspension, est rendue plus parfaite encore, par l'application de tendeurs à contrepoids communiquant au fil de travail une tension constante. C'est ce qu'on a appelé la suspension caténaire double.

Par une disposition ingénieuse, l'A. E. G. est parvenue à appliquer les contrepoids compensateurs à l'ensemble du câble porteur et du fil de travail, en évitant les risques de déréglage des chaînettes que nous avons signalés plus haut. A cette fin, ce constructeur dispose un câble tendeur sous très faible flèche qui double le câble porteur dans presque toute l'étendue de chaque chaînette. Ce tendeur empêche les déformations du câble porteur. Nous reviendrons par la suite sur ce dispositif.

Solidité des lignes. — On attache une grande importance à la robustesse des supports qui sont généralement construits en acier. Souvent, ils constituent de véritables passerelles jetées en travers de la voie; il semble même qu'en Angleterre et en Amérique on ait quelque peu outré l'importance de ces constructions.

Dans des cas d'application aux chemins de fer secondaires, et dans les voies de stations parcourues à faible vitesse, on a fait usage de fils transversaux et même de poteaux en bois.

Un point capital est d'éviter toute soudure dans les assemblages des câbles, fils et antibalançants; on reproche aux soudures d'être précaires, d'altérer la résistance du métal et encore de rendre les réparations malaisées.

La méthode universellement suivie et qui donne toute satisfaction consiste, comme on le sait, à serrer les câbles dans des pinces; le fil de travail est saisi de même par des mâchoires qui s'impriment dans deux rainures longitudinales du conducteur.

Antibalançants. — Pour la grande vitesse, le conducteur d'une ligne caténaire doit être maintenu dans son tracé horizontal par des organes de fixation: en alignement droit et dans les courbes à grand rayon, on fait usage à cette fin de bras rigides qui se fixent au fil par une griffe qui en laisse libre la partie inférieure; les bras s'attachent d'autre part, soit aux poteaux de support, soit encore à des poteaux spéciaux intercalés entre ceux qui supportent la ligne.

En courbe prononcée, les tirants sollicitant vers la convexité consistent en fils souples.

Dans l'un et l'autre cas, les antibalançants sont naturellement isolés de leurs supports avec le même soin que le câble porteur.

Sur le London-Brighton, où il est fait usage de deux câbles porteurs, les antibalançants ont été généralement fixés à des triangles rigides appendus à ces câbles; on a évité ainsi de devoir les isoler; l'expérience semble avoir montré que leur fixité est suffisante.

Il va de soi que les antibalançants sont inutiles dans les lignes de construction rigide.

Isolement. — Les lignes de contact des tramways, quoiqu'elles ne soient chargées que d'une tension de 500 à 600 volts, sont régulièrement pourvues du double isolement. Aussi, doit-on s'étonner de trouver des lignes monophasées à haute tension, construites suivant le dispositif caténaire, qui ne reposent sur chaque support que par un seul isolateur. Mais c'est là une

construction exceptionnelle; non seulement on a adopté le double isolement dans le plus grand nombre de réalisations, mais on s'est attaché en plus à rechercher pour les isolateurs la perfection de la matière et du modelage.

Pour les hautes tensions, la porcelaine est seule admise et la forme est spécialement étudiée pour en assurer l'homogénéité complète après cuisson. A cette fin, on donne aux isolateurs une épaisseur aussi uniforme que possible et on n'hésite même pas à rapporter après cuisson, en les scellant par une pâte soumise au recuit, les parties qui, si elles étaient venues de masse, auraient formé des surépaisseurs locales. On s'est imposé aussi, dans les types les plus récents, de ne soumettre la porcelaine qu'à des efforts de compression.

Les isolateurs blindés sont restés en faveur dans les installations à haute tension où le simple isolement est réalisé. Si l'isolateur unique vient à se briser, l'arc s'établit entre le ferrement de support et la carapace jusqu'au moment du fonctionnement des automatiques. La suspension est ainsi moins exposée à se rompre et à tomber sur le sol. D'autre part, l'isolateur blindé a l'avantage de moins solliciter l'attention des malveillants et de mieux résister à leurs entreprises.

Flexibilité de la ligne de contact, dans le sens vertical. — Nous avons fait remarquer que l'accord n'est pas unanime sur la convenance d'un certain jeu du fil de travail, dans le sens vertical. Tandis que presque toutes les constructions récentes satisfont à cette condition, nous voyons encore mettre à l'essai sur le réseau pyrénéen, une ligne de contact absolument rigide. Cependant, sur le New-York, New-Haven, Hartford Rd., où le fil est soutenu par un tringlage plus ou moins indéformable, on a reconnu la nécessité de donner plus de souplesse au conducteur et c'est pourquoi, faisant de l'ancien fil de contact un véritable fil auxiliaire, comme dans la double suspension caténaire Siemens-Schuckert, on y a suspendu élastiquement un nouveau fil de travail.

Un des avantages de la suspension caténaire est de pouvoir être montée au côté de la voie, sur le bas de poteaux, et y être provisoirement réglée, de telle sorte qu'il suffit de hisser ensuite le système aux consoles par une manœuvre rapide. L'encombrement d'une voie à électrifier est ainsi réduit au minimum.

Étudiées particulièrement pour l'application des courants monophasés à la traction, les caténaires ont été utilisées aussi pour

les lignes à courant continu et l'on a pu ainsi élever la tension au taux que la construction des moteurs permet d'atteindre (600 à 2000 volts et même 3000 volts avec moteurs couplés en série).

La tension du courant alternatif n'est pas limitée par les possibilités de la construction des moteurs; avec des lignes bien isolées, on a fait emploi de tensions variant de 4000 à 10.000 volts; pour des applications récentes, on a même adopté 12.000 et 15.000 volts.

Pour être complet, nous devons citer encore la ligne à laquelle s'applique l'antenne Oerlikon. Elle échappe à certaines des règles que nous avons dégagées des constructions récentes. C'est pourquoi nous ferons de cette ligne l'objet d'une mention spéciale dans la suite de ce travail.

Lignes aériennes bipolaires.

A l'origine de la traction électrique, on a employé des lignes bipolaires pour les tramways à courant continu, le conducteur de retour étant isolé. Dans certaines applications plus récentes (réseau du Borinage), une ligne bipolaire a été utilisée dans les mêmes conditions, pour la traction par courant monophasé.

Actuellement, ce genre de ligne ne sert qu'à l'alimentation des moteurs de traction triphasés. On en a fait un important emploi en Italie, pour la traction des trains au passage du Simplon, sur les lignes de la Valteline, du Giovi et pour la traversée du Mont Cenis.

La vitesse de marche sur ces sections n'est pas bien grande; aussi s'est-on contenté jusqu'à présent d'assurer une horizontalité suffisante des fils de travail en plaçant les poteaux de support à faible distance l'un de l'autre, c'est-à-dire à 20^m à 35^m.

Sur le tronçon Lecco-Calolzio, on a cependant installé, à titre d'essai, une ligne caténaire simple pour chaque conducteur.

Le double isolement est de règle; il est réalisé, pour chaque polarité, par un isolateur en ambroïne, avec carapace métallique, auquel se fixe directement le conducteur. Dans les premières constructions, cet isolateur est attaché à un court transversal, tendu le long de la console de support entre deux isolateurs de porcelaine. Une polarité est suspendue d'un côté de la console, l'autre polarité de l'autre côté.

Le rail sert de troisième conducteur.

Dans les lignes plus récentes, on a fixé les transversaux à des arcs en acier serrés au-dessous des consoles; ces arcs pouvant glisser longitudinalement lorsqu'on en desserre les attaches, il

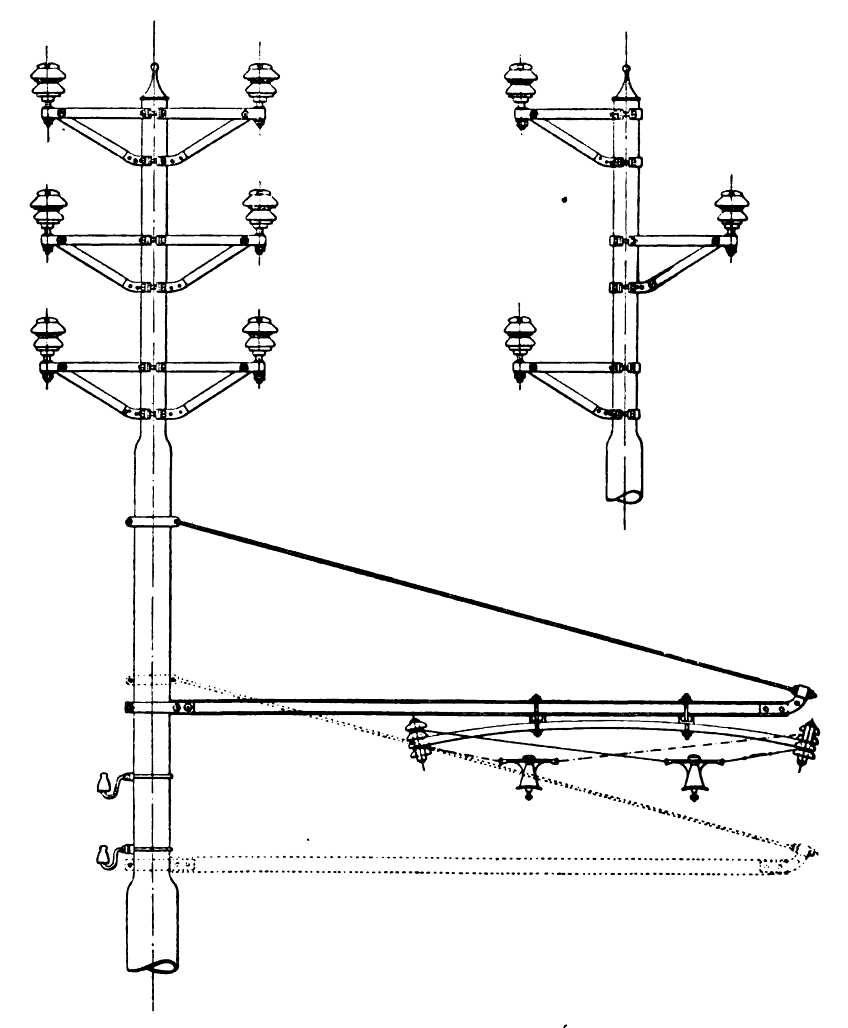


Fig. 7. — Support de ligne bipolaire. État italien.

est facile d'amener le plan des deux fils au parallélisme avec le plan de la voie. Tout en conservant le double isolement, on suspend maintenant les deux polarités au même transversal, en acier, qui forme ainsi la corde unique de l'arc. A cette fin, les

isolateurs en ambroïne ne sont plus attachés directement aux transversaux; avec leur carapace métallique, sont venues de fonderie deux tiges qui s'engagent chacune dans une cloche horizontale en porcelaine, dont la tête est enrobée dans une calotte métallique. Cette calotte porte une projection fendue et filetée qui sert à l'attache de l'ensemble aux fils transversaux.

Lorsque l'intensité du courant à collecter est grande (Giovi, Mont Cenis), on fait emploi de deux conducteurs par phase: dans ce cas, les deux isolateurs d'une même phase sont accolés.

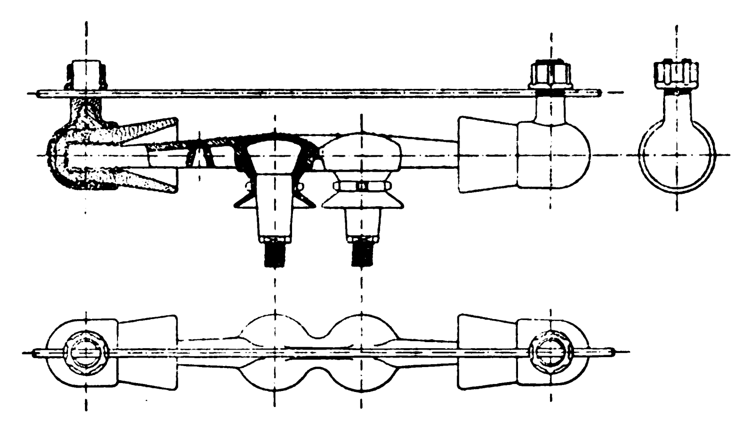


Fig. 8. — Isolateurs doubles du Giovi.

Bien que le fonctionnement de ces lignes soit très satisfaisant pour la tension de 3000 volts utilisée invariablement pour ces différentes lignes, on se propose, nous a-t-on dit, d'y apporter encore certains perfectionnements de détails.

Pour des réalisations du système triphasé faites dans d'autres pays, on a adopté des tensions de service plus élevées (5500 volts au sud de l'Espagne, 6000 volts au Great Northern américain); des constructeurs s'offrent à en établir à 8000 volts.

Les détails de construction de la ligne du Great Northern sont assez semblables à ceux des lignes italiennes, sauf que, conçus pour une tension de service plus élevée, les soins apportés à l'isolement en sont plus grands. C'est pourquoi la porcelaine y est seul employée.

La section électrifiée comprend le tunnel de la Cascade qui en constitue $^2/_3$ du développement total, mesurant 6,6 kilomètres. Dans la partie en tunnel, les suspensions filaires sont disposées en longueur et non plus en travers comme dans les parties à

ciel ouvert. Une autre particularité est l'emploi du trolley et non de l'archet ou du pantographe. Ce détail, qui a été discuté, a pu être appliqué grâce à la faible vitesse de marche et l'absence de changements de voie au cours du trajet; mais nous n'avons pas à nous en occuper dans ce rapport.

Aux bifurcations, on n'emploie généralement pas d'aiguillage aérien. Les parties de fils de contact qui se croisent sont maintenues pour la continuité mécanique du contact, mais, sur une longueur convenable, elles sont isolées du restant de la ligne. On évite ainsi le court-circuit entre phases au passage de l'archet; l'alimentation se maintient, en ces endroits, par le second archet monté à l'opposite du locomoteur.

Dans certains cas, particulièrement lorsqu'on fait usage de trolleys, on installe un véritable aiguillage aérien dont la manœuvre est conjuguée à celle de l'aiguillage de la voie. Mais il s'agit ici plutôt de tramways suburbains ou de voies à crémaillère où la vitesse est faible.

Prise de courant de M. Huber (Oerlikon).

Dans ce système, le fil unique de prise de courant est posé latéralement à la voie, sur des isolateurs uniques, dont la tête

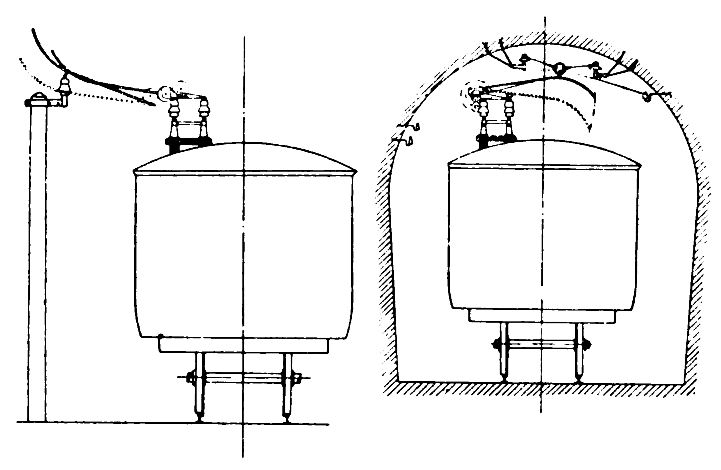


Fig. 9. — Prise de courant Huber (Oerlikon).

est blindée et porte un appendice qui tient le fil à une certaine distance de la porcelaine. Le contact avec l'antenne se fait gé-

néralement par le dessus du fil, mais il peut avoir lieu en tout point de la demi-surface du fil tournée vers la voie.

L'antenne, montée sur le côté de la voiture, est un bout de tube courbé, articulé à l'une de ses extrémités et dont l'autre extrémité, sollicitée par des ressorts, tend à décrire un arc de cercle vers la voie. Le tout est généralement porté par un pantographe isolé qui peut s'ouvrir ou se replier soit à la main, soit automatiquement.

L'antenne a reçu quelques applications, sur la ligne Seebach-Wettingen, en Suède, et sur le chemin de fer à voie étroite de Locarno-Bignasco. La ligne de contact est simple, peut être robuste, mais la flèche inévitable du fil limite la vitesse permise; les constructeurs estiment toutefois qu'on peut la porter sans inconvénient à 60 kilomètres à l'heure. On reproche aussi à ce montage de n'être pas pourvu du double isolement.

Ligne Siemens-Schuckert.

Comme il a été dit plus haut, la ligne Siemens-Schuckert est caténaire double, formée d'un câble porteur d'acier ou de bronze dur, soutenant par des pendules espacés de 6^m à 20^m un câble auxiliaire de même métal, auquel le fil de travail en bronze est suspendu. Cette dernière suspension est faite par des étriers qui, d'une part, se fixent au fil de contact profilé en 8 et dont l'anse, d'autre part, glisse librement sur le câble auxiliaire. Le nombre de ces étriers est double du nombre des pendules. Toutes les attaches sont faites par pinces, c'est-à-dire sans soudure.

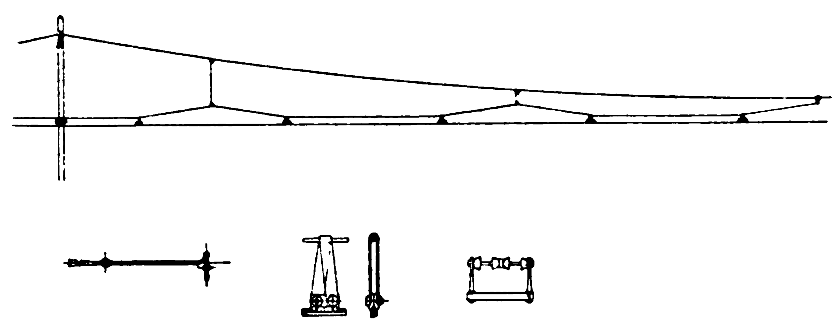


Fig. 10. — Ligne Siemens-Schückert. W., double caténaire.

Le câble porteur est fixé, à chaque console, à un collier serré sur un isolateur bilboquet enfilé sur un bout de tube

à gaz, dont les extrémités pénètrent dans deux isolateurs fixés eux-mêmes par deux bras verticaux à la console. Un même système isolant s'applique plus bas, au poteau, pour soutenir l'antibalançant, attaché d'autre part au fil de travail et au câble auxiliaire.

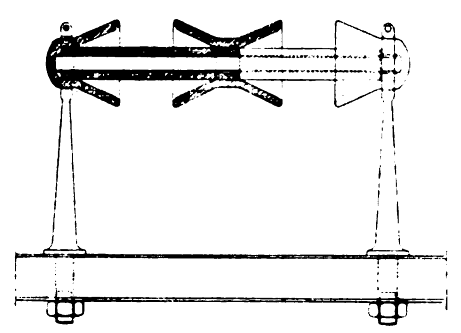


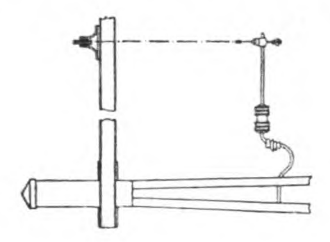
Fig. 11. — Isolateurs de la ligne Siemens-Schückert. W.

Des tendeurs insérés dans les câbles en permettent le réglage à la main. Le fil de travail est seul compensé automatiquement par l'effet de contrepoids espacés d'environ un kilomètre. A l'endroit des compensateurs, les deux brins de fil de travail, qui se succèdent, cheminent parallèlement sur une certaine longueur (une portée entre poteaux exceptionnellement réduite à une dizaine de mètres). Chaque bout est fixé par isolateurs doubles à un bout de chaîne qu'une poulie fixée sur une traverse renvoie vers le poteau, où une nouvelle poulie le replie vers le contrepoids.

Dans l'installation de Spiez Frütigen, ce système a été remplacé par deux balanciers verticaux, placés immédiatement au-dessus de la ligne de contact; les bouts de fil de contact se fixent aux extrémités inférieures des balanciers après s'être doublés sur l'intervalle de ces balanciers. Les deux extrémités supérieures des balanciers sont sollicitées l'une vers l'autre par l'action d'un contrepoids. Toutes les parties sous tension sont pourvues du double isolement.

Ligne de l'Allgemeine Elektricität Gesellschaft.

Nous avons dit que dans cette suspension, les constructeurs sont parvenus à appliquer la compensation aussi bien au câble





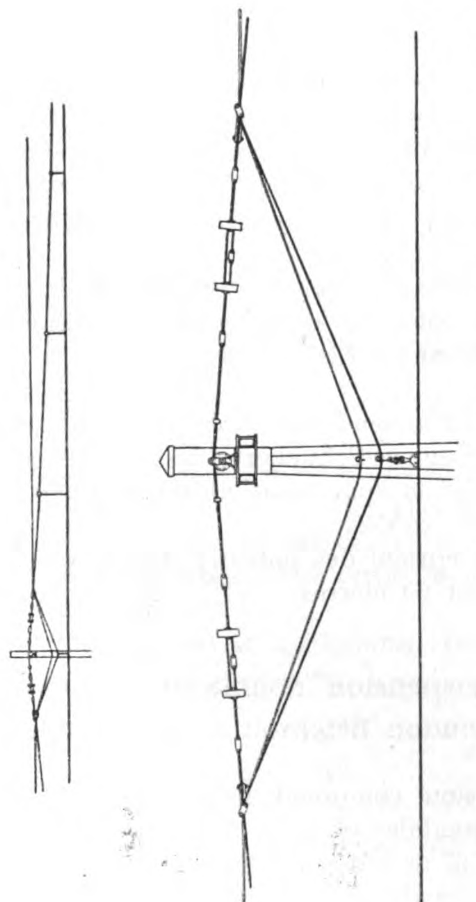


Fig. 12. — Ligne caténaire de l'A. E. G.

porteur qu'au fil de travail. La caténaire est simple, bien que formée de deux câbles et du fil de contact; l'un des câbles ne sert en effet que de tendeur et ne porte aucun pendule.

Pour éviter l'instabilité relative du système de chaînettes successives à forte flèche, que forme le câble porteur roulant librement sur les galets isolants des supports, on a créé une forte tension additionnelle aux points de suspension de ces chaînettes. A cette fin on a fixé au câble porteur, près des galets de suspension, un câble auxiliaire fortement tendu. De la sorte, au point de vue de la stabilité, le système des deux câbles jouit des avantages des chaînettes à faible flèche et à forte tension. Au point de vue du plus ou moins d'importance des déformations dues à la température, la suspension du fil de travail participe aux avantages des câbles porteurs à forte flèche.

En réalité, pour des raisons de construction et d'isolement, on ne fait pas passer le câble porteur sur le galet de la potence. Un bout de câble attaché de part et d'autre de cette potence au câble porteur, aux points mêmes où se fixe le câble auxiliaire, remplit cet office. On a pu de la sorte ne pas interrompre entre les portées le câble porteur et le câble auxiliaire. L'un et l'autre se replient sous la console; leur ensemble soutient en ce point le fil de travail.

Le bout de câble passant sur le galet de la console en est isolé de chaque côté par une série de deux isolateurs à disque, du type de la General Electric C^y^, qui ne travaillent qu'à la compression.

Le dispositif compensateur présente beaucoup d'analogie avec celui de Siemens-Schuckert; les différences proviennent surtout de ce que la compensation automatique s'applique à la fois au fil et aux câbles.

L'espacement normal des poteaux, dans la récente installation du Wiesental, est 60 mètres.

Caténaire à suspension double et à pendules obliques du London Brighton & South Coast C^y^.

Cette suspension comprend deux câbles porteurs parallèles réunis par des pendules obliques et souples au fil de travail. On n'y fait emploi ni de câble auxiliaire ni de compensateur automatique. Les caténaires sont arrêtées aux consoles à des isola-

teurs en accordéon, disposés par deux en tension; généralement les antibalançants sont suspendus aux caténaires mêmes, près des isolateurs, par des pendules en forme de V et rigides; un bras également rigide joint la pointe inférieure de ce système indéformable au fil de travail. Une chaînette fixée à l'un des pendules soutient le poids de l'antibalançant.

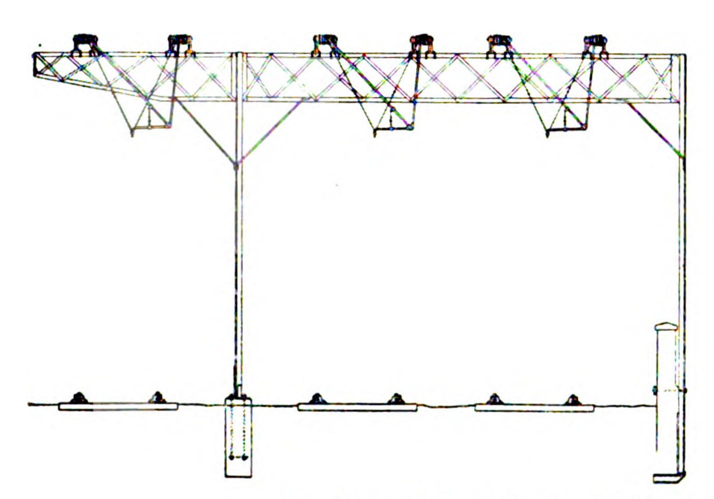
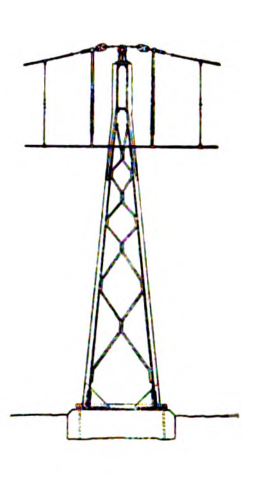



Fig. 13. — Ligne de London Brighton & S. C. Ry.

Les pendules sont attachés au fil de travail à section en 8 et au câble par des pinces; ils sont espacés d'environ 90 centimètres.

Les câbles sont en acier goudronné et le fil de travail en cuivre dur.

Les particularités les plus intéressantes de ce montage résident dans les détails ingénieux que l'auteur, Mr. Dawson, à dû imaginer pour surmonter les multiples difficultés de l'électrification d'un réseau très complexe, à gabarit fort étroit et parcouru par de nombreux trains à vapeur.

La construction des supports métalliques revêt en plusieurs points une importance exceptionnelle.

Conclusions.

Le troisième rail offre une solution satisfaisante lorsque le courant continu peut être avantageusement employé et que les

aiguillages ne sont pas trop nombreux. Son emploi s'impose presque, pour les surélevés établis dans les villes, où les exigences de l'esthétique ne sont pas conciliables avec la ligne aérienne. Si, en certains points, les aiguillages se multiplient, on a la ressource d'établir une partie de ligne aérienne.

Quoique moins robuste, d'un aspect moins satisfaisant et gênant la perception des signaux, la ligne aérienne est utilisée concurremment avec le troisième rail pour la distribution du courant continu; des raisons d'économie la font préférer, malgré ses infériorités, pour certains cas d'emploi de courant continu.

Mais si l'on fait usage de courants alternatifs, la ligne aérienne est seule à considérer. Son exécution a été portée à un degré de perfection qui permet l'emploi de toutes les tensions qu'admettent les équipements moteurs. Il y a vingt ans, il eût paru bien téméraire de tendre au-dessus des voies, des conducteurs chargés à la tension de 15000 volts; la suspension caténaire, dont les éléments se soutiennent mutuellement, autorise maintenant l'usage de ces hautes tensions, sans que l'on ait à redouter la chute du conducteur. A cet égard, il n'est pas inopportun de signaler la fâcheuse tendance de certains constructeurs, d'augmenter la distance entre les pendules, au point de les rendre inopérants comme organe de sécurité.

Il resterait à traiter des dispositifs propres à éviter la nuisance des lignes de prise de courant par rapport aux lignes à courant faible, mais les recherches entreprises pour en définir les causes et en déterminer les remèdes, ont montré que ces derniers devaient porter seulement sur la construction des moteurs et celle des lignes de correspondance.

DISCUSSION

M. Eugen Eichel (Berlin). — *Il y a une différence importante entre la disposition du second fil de contact de la ligne du New York, New Haven & Hartford, installé à cause de l'usure excessive du fil de contact en cuivre et de la disposition du fil porteur au-dessus du fil de contact, de la maison Siemens-Schuckert.*

Dans le dispositif Siemens, le fil de travail est attaché au fil porteur au moyen d'étriers déplaçables en travers et en longueur; il est maintenu en tension par des poids tendeurs placés à des distances convenables (de 1 à 2 km.). Le fil de contact est suspendu d'une façon extraordinairement élastique et il rend possible une prise de courant très sûre, même à de grandes vitesses, ainsi qu'il est démontré par les trains marchant à plus de 130 km. à l'heure sur la ligne Dessau-Bitterfeld.

Dans le cas de la ligne New York, New Haven & Hartford, la nouvelle ligne de contact, en acier, est attachée rigidement à l'ancienne ligne de contact au moyen de pinces placées au milieu entre les points de suspension de l'ancienne ligne de contact.

Cette rigidité donne, comme limite d'élasticité, le double jeu de l'ancien fil de cuivre ajouté au " mou " du fil de fer entre les points où il est rigidement attaché.

L'auteur a mentionné des tensions de 12.000 à 15.000 volts.

Il peut être intéressant de noter que les administrations de chemins de fer allemandes importantes qui ont fait le choix du courant alternatif pour l'électrification des grandes lignes à l'avenir ont adopté 15.000 volts comme tension normale pour la ligne de contact.

La prolongation de la ligne Dessau-Bitterfeld se fera aussi en courant alternatif à 15.000 volts, et 15 periodes par seconde, ainsi que l'électrification du réseau assez important de Lauban-Koenigszelt en Silésie.

L'emploi du trolley à roulette sur la ligne triphasée à 6000 volts du Cascade Tunnel est dû aux conditions de service qui empêchent la pose des lignes de contact à la voûte du tunnel.

Vu que cette installation n'a qu'un service de relai à faire, à une vitesse réduite, le trolley répond assez bien, mais, dans d'autres circonstances, on eût dû sûrement se servir du contacteur à archet.

M. C. O. MAILLOUX (New York), Président, *donne un résumé sommaire de certains détails intéressants, esquissés par lui au tableau noir, relatifs à la construction de la ligne caténaire du London Brighton & South Coast Railway, en Angleterre, que M. Dawson, l'ingénieur conseil de cette ligne lui a fait voir récemment. M. Dawson a lui-même donné une description illustrée de cette ligne caténaire dans le Mémoire qu'il a présenté il y a quelques mois à l'Institution of Civil Engineers de Londres au sujet de l'électrification de la ligne en question. Mais il faut voir la ligne même et surtout en voir faire le montage, comme il a eu l'avantage de le pouvoir faire, pour apprécier à juste titre ce que M. L'Hoest a dit dans son Mémoire, à propos des détails ingénieux que M. Dawson a imaginés.*

Ce qui l'a frappé et ce qu'il a admiré le plus, dans cette ligne caté-

naire de contact, et ce qui lui semble être un point caractéristique et important de mérite de cette ligne, c'est sa souplesse remarquable et la manière, en même temps extrêmement ingénieuse et simple, par laquelle M. Dawson la réalise. Au lieu de rechercher la solidité et la rigidité mécaniques et l'absence de jeu des deux bras des pendules en V qui supportent la ligne de contact, comme on l'avait fait sur les lignes précédentes, notamment celle du New York, New Haven & Hartford Railroad, M. Dawson a fait exprès de leur donner le moins de rigidité et le plus de jeu possible. Loin de vouloir empêcher le fil de travail de se déplacer, il lui facilite un mouvement vertical considérable. A cet effet il construit les bras des deux pendules du V chacun en deux pièces de fil de fer galvanisé, l'une attaché au câble porteur, et l'autre au fil de travail, par des pinces qui permettent un ajustage facile et précis. Chaque pièce est recourbée en œil, ou en maille, à son extrémité libre; et les deux pièces s'enchaînent et se tiennent par ces mailles. C'est, en sorte, comme si les pendules en V, entre les câbles porteurs et le fil de travail, étaient composées chacune d'une chaîne au lieu d'une tige solide. Cette chaîne n'a que deux mailles, mais celle-ci ont une ouverture suffisante (25 mm.) pour permettre au fil de travail un mouvement vertical d'environ 50 mm.

On voit très bien, le jeu de va-et-vient vertical, entre les deux " mailles „ lorsque l'archet passe sous le fil de travail et le soulève. Cette construction se prête également, comme il est facile de voir, à un mouvement latéral considérable.

De cette manière, le fil de travail ne subit aucune contrainte mécanique lorsque l'archet le soulève ou lorsqu'il retombe à sa position normale après que le train a passé.

M. G. L'Hoest (Bruxelles). — *Les remarques dont successivement MM. Eichel et notre honorable Président ont fait suivre mon Rapport ont donné, sur des points spéciaux sur lesquels ces orateurs sont particulièrement documentés, des détails très intéressants. Si j'ai bien compris ces communications, elles sont des développements plutôt confirmatifs du Rapport que j'ai eu l'honneur de vous présenter.*

La définition et la mesure industrielles de l'accélération des trains.

C. O. Mailloux (New York)

Cette communication vise un but que l'auteur poursuit depuis déjà plus de dix ans et qui est le suivant:

" Faire connaître à l'étranger, surtout en Europe, une manière en même temps *rationnelle* et *pratique*, de définir et de mesurer l'accélération des trains, employée depuis longtemps en Amérique à l'exclusion de toute autre; inviter les techniciens de l'industrie du transport à adopter cette définition et cette mesure, et à s'en servir, dans tous les pays, afin qu'elles deviennent internationales „.

C'est la deuxième fois que l'auteur profite de l'occasion favorable d'un Congrès international des Applications de l'Électricité pour venir faire de la propagande en faveur des idées qu'il préconise, à ce sujet. Au Congrès qui a précédé celui-ci, à Marseille, en 1908, l'auteur a présenté une Communication en français, sous le même titre exactement que la communication présente, laquelle, par le fait, ne sera qu'un résumé sommaire de ce que l'auteur avait dit à cette occasion.

Pour des raisons diverses, la première communication n'a pas été reproduite dans les comptes rendus du Congrès de Marseille. Elle a, cependant, été publiée complètement dans " La Revue Électrique „, de Paris, du 30 novembre et du 30 décembre 1908. Un abrégé, traduit en anglais, a paru dans le " Electric Railway Journal „, de New York, du 13 février 1909 (Vol. XXIII, pp. 277-279), où l'on trouvera également une appréciation sous la forme d'un article éditorial.

Dans la communication faite par lui au Congrès de Marseille, l'auteur avait l'intention ferme d'aller jusqu'au fond de la question et non seulement de prévoir toutes les critiques possibles, mais même d'y répondre d'avance. Il croit avoir réussi, s'il peut en juger d'après les appréciations très sympathiques qu'il a reçues d'un grand nombre de techniciens éminents de divers pays. Il estime, pour cette raison, qu'il ne saurait faire mieux que de prendre dans cette première communication la substance de ce qu'il veut présenter dans cette seconde communication sur le même sujet. Ce qui suit est donc en grande partie tiré et adapté de la communication faite à Marseille.

Il y a vingt ans, ce n'était que bien rarement que les phénomènes de l'accélération occupaient l'attention des électriciens ou des industriels. C'est la traction électrique, surtout, par son développement tout-à-fait extraordinaire durant les 20 dernières années, qui nous a fait voir l'importance et l'utilité de l'analyse détaillée des phénomènes et des incidents de la *variation de la vitesse* dans les transports rapides par trains. L'accélération entre maintenant en ligne un peu partout, dans tous les problèmes, études, expériences, etc., de transport. Il semble donc que le moment soit venu pour s'entendre et s'accorder sur la meilleure manière de la définir, de la mesurer et de la faire entrer dans nos calculs et nos discussions. C'est dans ce but que l'auteur s'est permis de faire constater une divergence dans la manière de voir et de faire qui existe, sous ce rapport, entre l'Europe et l'Amérique.

En Europe, l'accélération d'un train est définie et mesurée en termes de *mètres par seconde par seconde*, sur le continent, et de *pieds par seconde par seconde*, en Angleterre.

En Amérique, l'accélération d'un train est définie et mesurée en *milles à l'heure par seconde*, dont l'analogue pour le système métrique serait des *kilomètres à l'heure par seconde.* Cette méthode a la prétention d'être plus rationnelle et plus pratique que la méthode européenne, parce que: 1° elle se raccorde beaucoup plus directement et facilement aux besoins et aux buts pratiques, et 2° elle évite un procédé de *traduction de vitesses* absolument inutile et plus ou moins embrouillant et fatiguant, surtout pour ceux qui, comme la plupart des gens du " métier " de la traction ou de la propulsion par moteurs, les wattmans, les chauffeurs, etc., n'ont pas eu le bonheur ou l'avantage de faire des études polytechniques, voire même de lycée.

On a reproché à la méthode de définition et de mesure américaine de l'accélération des trains de n'être pas logique et rigoureuse. L'auteur prétend que cette méthode, qui est aujourd'hui en usage universel en Amérique, bien loin d'être moins logique et rationnelle, l'est encore plus peut-être que la méthode européenne, c'est-à-dire que la méthode académique, en même temps qu'elle est incontestablement plus pratique et plus commode.

Il est persuadé qu'il suffit de bien *connaître* cette méthode pour la *reconnaître* comme supérieure et préférable à toute autre. C'est, suivant lui, tout ce qu'il faut pour qu'elle soit bien vite universellement acceptée et adoptée. L'auteur a pu constater, maintes fois, en discutant cette question avec des Européens de haute compétence, qu'il suffit de leur faire faire un petit peu d'examen de conscience technique pour qu'ils reconnaissent et avouent les fautes et les inconvénients de la méthode européenne. En effet, un petit peu de réflexion suffit bien pour mettre en évidence le fait que la méthode européenne force l'esprit à " changer de train „ continuellement. Chaque fois qu'il s'agit d'établir, par cette méthode, une relation entre l'*accélération* et la *vitesse* d'un train il faut que l'esprit " traverse une frontière „.

Cela devient toujours un cas où, pour ainsi dire, " tout le monde descend „ et doit passer à la douane ou plutôt au bureau de change, avant de continuer le chemin. D'autre part, avec la méthode américaine, on passe et l'on repasse entre la vitesse et l'accélération, ou de l'une à l'autre, sans le moindre effort. Il n'y a pas de gymnastique mentale à faire pour descendre d'un train qui fait des *kilomètres à l'heure*, que tout le monde comprend, pour rembarquer, au vol, dans un autre train qui fait des *centimètres* ou des *mètres par seconde*, que presque personne ne comprend, à part quelques initiés et adeptes qui ont enfin réussi à faire " la traduction „ sans perdre trop de temps. Avec la méthode américaine, la vitesse *gagnée* durant une période d'accélération, ou la vitesse *perdue* durant une période de retardation (accélération négative), est toujours du même *ordre* et est toujours mesurée de la même façon que la vitesse définitive qu'on veut atteindre ou amortir. L'accélération jusqu'à une vitesse de *tant* de milles ou de kilomètres à l'heure s'opère à raison de *tant* de milles à l'heure ou de kilomètres à l'heure *par seconde*. Et tout le monde comprend sans aucune difficulté ce que cela veut dire. Cela est certainement un avantage. C'est

pratique, et c'est commode. Est-ce, cependant, aussi logique? " C'est ce qu'il faut démontrer „ pour les Européens.

Les relations cinématiques nécessaires et suffisantes pour notre discussion sont les trois fonctions suivantes du temps:

1. La fonction *distance.*
2. La fonction *vitesse.*
3. La fonction *accélération.*

La cinématique nous apprend que ces trois fonctions sont liées entre elles d'une façon caractéristique. En effet la fonction *vitesse* est la fonction *différentielle* de la fonction *distance* et elle est aussi la fonction *intégrale* de la fonction *accélération.* La fonction *accélération* est la fonction différentielle *première* de la fonction *vitesse* et la fonction différentielle *deuxième* de la *distance.* La fonction *distance* est la fonction première intégrale de la fonction *vitesse* et elle est la fonction deuxième intégrale de la fonction *accélération.*

Nous voyons que la fonction *accélération* peut être dérivée et obtenue de deux manières. Si on la fait dériver de la fonction *distance* nous aurons (en représentant la distance par S, et le temps par *t*),

$$a = \frac{d^2S}{dt^2}. \qquad (A)$$

Si on la fait deriver de la fonction *vitesse*, nous aurons (en représentant la vitesse par V, et temps par *t*),

$$a = \frac{dV}{dt}. \qquad (B)$$

D'après la formule (A) il faut définir l'accélération en termes d'un rapport qui représente et exprime la *deuxième* dérivée de la *distance.* D'après la formule (B) il faut exprimer l'accélération en termes d'un rapport qui représente et exprime la *première* dérivée de la *vitesse.* La première est la définition qui sert de base à la mesure de l'accélération des trains employée en Europe. La seconde est la définition qui sert de base à la mesure employée en Amérique et que l'auteur préconise.

On a tellement l'habitude, en dynamique, de se représenter l'accélération comme étant une deuxième dérivée de la distance, qu'on finit, parfois, par croire que c'est bien le seul et unique moyen de la formuler et de la définir. Cette habitude est, sui-

vant l'auteur, la seule raison qui a pu inciter les techniciens à adopter, pour l'accélération des trains, une définition si indirecte que celle qui remonte à la *distance* (c'est-à-dire à une fonction cinétique du *deuxième* ordre par rapport à l'accélération), tandis qu'il suffit de remonter à la *vitesse* (c'est-à-dire à la fonction cinétique la plus voisine, soit celle du *premier* ordre, par rapport à l'accélération).

En vérité, c'est bien un changement de *vitesse* plutôt qu'un changement de *distance* qui nous vient à l'esprit avec l'idée de l'*accélération.* Il faut même que l'esprit fasse un détour, une " traduction „, pour y voir bien sûrement la *distance.* D'ailleurs, comme tout le monde le sait, ce qui nous intéresse, c'est l'influence exercée et l'effet produit sur la *vitesse* et non sur la *distance*, par l'accélération.

C'est donc, en réalité, la seconde formule (B), c'est-à-dire la dérivée première de la fonction *vitesse*, qui fournit la définition " naturelle „ de l'accélération. C'est bien celle que nous spécifions quand nous parlons de kilomètres à l'heure *par seconde.*

Pour spécifier l'autre définition (A) il faudrait plutôt écrire, comme on le fait quelquefois,

$$A = \frac{\text{mètres}}{\text{secondes} \times \text{secondes}} = \frac{\text{mètres}}{(\text{secondes})^2}.$$

Pour se rendre compte de ce que cela veut dire, il faut toujours faire une transformation, une traduction, et revenir, disons plutôt *arriver*, à la spécification naturelle.

L'unité d'accélération qui sera " naturelle „ pour chaque définition dépendra des unités employées pour la fonction de laquelle cette accélération a été dérivée.

Il s'ensuit de ce qui précède que le mètre par seconde par seconde ne sera l'unité naturelle et logique de l'accélération qu'à la condition que les vitesses qui varient soient mesurées en *mètres par seconde.* Le pied par seconde par seconde ne sera l'unité naturelle et logique que lorsque des vitesses seront mesurées en *pieds par seconde.* Pour les cas où les vitesses sont mesurées autrement, ces unités ne seront plus appropriées. Il faudra toujours les traduire pour les comprendre.

Si la technologie des chemins de fer avait adopté, dès le début, les mêmes unités de temps, de distance et de vitesse qui sont employées en Physique et en Mécanique, les unités d'ac-



célération de trains employées en Europe seraient tout à fait naturelles et logiques. Il n'en fut pas ainsi, cependant, et pour les meilleures raisons : ces unités étaient arrivées trop tard et d'ailleurs n'étaient pas convenables. L'industrie du transport avait été obligée d'établir et d'adopter des unités pratiques de distance, de temps, de vitesse, même longtemps avant l'existence des systèmes d'unités C. G. S. et des unités de la Physique et de la Mécanique, et, surtout, bien longtemps avant qu'on s'occupât pratiquement de questions et de problèmes concernant et comprenant l'accélération. Quand le moment arriva où l'on eut à mesurer de l'accélération de trains de chemins de fer ou de voitures de tramways, on s'y est pris de deux manières.

En Europe, les praticiens allèrent chez les polytechniciens emprunter une mesure déjà toute faite, pensant que cette mesure, étant la plus directe et la plus commode en Physique, devait bien sûrement l'être également pour mesurer l'accélération des véhicules. Ce qui est étrange, c'est que ni les hommes de la pratique, ni les hommes de la science ne s'aperçurent que cette mesure, faite exprès et si pratique pour mesurer les variations de vitesse quand ces vitesses sont exprimées par mètres par seconde, ne convenait pas du tout pour mesurer des variations de vitesses exprimées en kilomètres à l'heure.

En Amérique, on reconnut, dès le début, que la mesure des variations d'une vitesse devait être faite de manière à n'introduire qu'une seule unité de vitesse. On chercha la méthode la plus pratique et la plus commode. On la trouva sans difficulté, par le même procédé précisément que le physicien avait employé pour trouver les mesures les plus rationnelles et plus commodes pour lui.

Partons, comme l'a fait le physicien, des unités de distance et de temps que nous voulons utiliser. L'unité de distance (S), pour un transport sur une voie ferrée, c'est le *kilomètre* pour les pays " métriques ", et le *mille* pour l'Amérique et l'Angleterre. L'unité de temps de durée d'un transport est la même pour tous les pays ; c'est l'*heure* et ses subdivisions en *minutes*. L'unité de vitesse d'un transport est le *kilomètre à l'heure* pour les pays métriques, et le *mille à l'heure* pour l'Amérique et l'Angleterre. Ces unités de vitesse sont " naturelles " et logiques, ici, pour la même raison que les unités de vitesse du physicien le sont pour lui, c'est-à-dire qu'elles résultent directement de

la relation cinématique fondamentale entre la fonction distance et la fonction vitesse.

En effet, cette unité est bien celle du rapport entre la distance parcourue et le temps écoulé durant le trajet, soit

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{\text{kilomètres parcourus}}{\text{heures de durée du trajet}}$$
$$= \text{kilomètres à l'heure,}$$

ou bien

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{\text{milles parcourus}}{\text{heures écoulées durant le trajet}}$$
$$= \text{milles à l'heure.}$$

Il est bien vrai que ces unités servent principalement à mesurer des vitesses moyennes ; mais elles peuvent aussi bien servir à mesurer des vitesses instantanées ou des *vélocités*.

On trouvera une démonstration mathématique rigoureuse de ce point important dans la communication faite au Congrès de Marseille.

Le point sur lequel nous sommes en droit d'insister est le suivant : La *dérivée première* de la fonction *vitesse*, qui représente et définit l'*accélération* d'après la formule (B), peut être obtenue avec n'importe quelle mesure *du temps*, et sans s'occuper de la mesure du temps qui aurait servi préalablement pour obtenir la fonction vitesse elle-même. Ainsi, étant donnée une vitesse exprimée en kilomètres à l'heure, qui est, mathématiquement, l'expression d'une dérivée telle que

$$V = \frac{dS}{dT} = \frac{\text{kilomètres}}{\text{heures}},$$

on peut très bien traiter cette vitesse comme une fonction primitive ; et, alors, la première dérivée de cette fonction, qui sera bien une fonction *accélération*, suivant la formule (B), pourra être obtenue en prenant, pour mesurer le temps, n'importe quelle valeur *unitaire* que nous jugerons convenable.

Nos vitesses de transport (V) étant mesurées en kilomètres à l'heure ou en milles à l'heure (suivant le système d'unité employé), la variation des vitesses dV, produite durant l'intervalle de temps dt, sera égale à un certain nombre de kilomètres à l'heure ou de milles à l'heure. Nous avons pris la *seconde* comme

unité de temps; nous aurons donc le rapport de deux variations, l'une étant celle d'une vitesse mesurée en kilomètres à l'heure ou en milles à l'heure, l'autre étant celle d'un temps mesuré en secondes, soit

$$A = \frac{dV}{dt} = \frac{\text{kilomètres à l'heure}}{\text{secondes}} \tag{C}$$

$$= \text{kilomètres à l'heure par seconde,}$$

ou bien

$$A = \frac{dV}{dt} = \frac{\text{milles à l'heure}}{\text{secondes}}$$

$$= \text{milles à l'heure par seconde.}$$

L'expression à droite définit pour chaque cas l'unité " naturelle „ d'accélération pour mesurer des variations de vitesse quand ces vitesses sont elles-mêmes mesurées en kilomètres à l'heure ou bien en milles à l'heure.

Une discussion mathématique complète de tout ce qui précède est donnée dans la première communication de l'auteur (Voir " La Revue Électrique „ du 30 nov. et du 30 déc. 1908). Ceux qui seraient encore en doute sur aucun de nos raisonnements ou sur aucun des points que nous avons soulevés, sont invités à s'en rapporter à cette discussion.

On voit qu'en définissant et en mesurant l'accélération de la manière qui vient d'être indiquée, les vitesses sont mesurées et exprimées précisément de la même manière tout le temps, c'est-à-dire *avant*, *durant* et *après* l'accélération. Il n'y a qu'une seule unité de *vitesse*. Si, par exemple, cette unité est le kilomètre à l'heure, ce sera des kilomètres à l'heure de vitesse que le véhicule gagnera ou perdra pendant la période d'accélération et non des mètres par seconde. Il n'y a pas de traduction à faire, pas de coefficient à introduire, à aucun moment.

Étant donnée la valeur de l'accélération A, pendant un intervalle de temps Δt quelconque, l'équation (C) nous montre qu'on peut directement et facilement trouver l'accroissement de vitesse correspondant ΔV. Nous aurons toujours

$$\Delta V = A\,\Delta t.$$

Au bout d'une série d'intervalles $\Sigma \Delta t$, c'est-à-dire à la fin d'une période de temps, nous aurons

$$\Sigma \Delta V = \Sigma A\,\Delta t,$$

ou, en général, nous aurons, dans l'intervalle t,

$$V = \int_o^t dV = \int_o^t A\,dt.$$

Supposons, par exemple, que l'accélération A demeure constante durant un nombre de secondes donné t; nous aurons tout simplement

$$(a) \qquad V = A\,t.$$

Prenons un exemple pour fixer les idées. La vitesse d'un certain train augmente à raison de $2^{km},75$ à l'heure par seconde, pendant 13 secondes. L'augmentation totale de vitesse à la fin de cette période d'accélération sera égale au produit de l'accélération (A) par le temps (t), soit

$$V = 2{,}75 \times 13 = 35{,}75 \text{ kilomètres à l'heure.}$$

Modifions le problème: *Une train atteint une vitesse de* 60^{km} *à l'heure en s'accélérant à raison de* $2^{km},65$ *à l'heure par seconde. Combien de temps lui faudra-t-il?*

De la formule (a) nous tirons

$$(b) \qquad \frac{V}{A} = t.$$

Nous trouvons donc

$$t = \frac{60}{2{,}5} = 24 \text{ secondes.}$$

Encore un autre problème: *Quelle est l'accélération d'un train qui atteint une vitesse de* 56^{km} *à l'heure en* 14 *secondes?*

De la formule (a) nous tirons

$$(c) \qquad \frac{V}{t} = A.$$

Nous trouvons donc

$$A = \frac{56}{14} = 4 \text{ kilomètres à l'heure par seconde.}$$

Ceux qui ne seraient pas encore convaincus des avantages de cette méthode sont invités à faire les mêmes calculs par " l'autre méthode „ et à noter le temps qu'il faut des deux manières.

Il est facile de trouver la .constante du rapport entre une accélération mesurée par la méthode " pratique " et par la méthode " académique ".

Exprimons une même accélération des deux méthodes.

Par la méthode académique, en prenant

S = mètres,
t = secondes,
a = mètres par seconde par seconde,

nous aurons

$$a = \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dt}\right).$$

Par la méthode pratique, en prenant

S = kilomètres,
T = heures,
a' = kilomètres à l'heure par seconde,

nous aurons

$$a' = \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dT}\right).$$

Le rapport de la première à la seconde de ces accélérations sera

$$\frac{a}{a'} = \frac{d}{dt}\left(\frac{ds}{dt}\right) \div \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dT}\right) = \frac{ds}{dt} \div \frac{dS}{dT} = \frac{v}{V}.$$

C'est le rapport de deux vitesses (v et V) mesurées différemment, ou peut-être, plutôt, de la même vitesse mesurée de deux manières différentes.

Supposons chacune de ces vitesses égale à l'unité de vitesse correspondante. Introduisons les valeurs relatives de v et de V pour chaque système de mesures:

Système métrique.	*Système anglais.*
$v = 1 = 1$ mètre par seconde	$v = 1 = 1$ pied par seconde
$= 3600$ mètres par heure,	$= 3600$ pieds par heure,
$V = 1 = 1$ km par heure	$V = 1 = 1$ mille par heure
$= 1000$ mètres par heure.	$= 5280$ pieds par heure.

Nous aurons pour le rapport $\frac{v}{V}$:

Système métrique.	*Système anglais.*
$\frac{3600}{1000} = 3{,}6.$	$\frac{3600}{5280} = 0{,}682.$

Ces constantes sont les coefficients qui interviennent constamment lorsqu'on se sert de la méthode européenne (académique) pour mesurer l'accélération. C'est à cause de ce coefficient qu'il faut " changer de train „ pour passer la " frontière „ entre une vitesse et une accélération.

Ces chiffres veulent dire qu'en prenant une unité d'accélération 3.6 fois plus petite que le mètre par seconde et en l'appelant le *kilomètre à l'heure par seconde*, on supprimera tout à fait les inconvénients signalés dans ce résumé.

Il n'y aura alors plus de difficulté, pour ne pas dire « *mystère* „, pour personne, dans les calculs de l'accélération, de la retardation et des vitesses atteintes ou amorties dans un temps et sous des conditions données. Tout le monde comprendra cette mesure et pourra s'en servir avec intelligence.

Ces observations sont inspirées et en même temps confirmées par plus de dix ans d'expérience avec l'unité analogue, *le mille à l'heure par seconde*, en Amérique. La méthode de définition de mesure industrielle de l'accélération des trains présentée dans ce Mémoire est donc une méthode qui a fait ses preuves depuis longtemps et dont l'utilité et les avantages pratiques ne pourraient plus être contestés.

Dans un Mémoire publié il y a neuf ans (*American Institute of Electrical Engineers*, t. XIX, 1902: MAILLOUX, *Speed-time Curves*), l'auteur avait déjà insisté sur les avantages, au point de vue logique et pratique, de la méthode qui vient d'être décrite. Il a cru qu'il y avait intérêt à y revenir, à l'occasion du Congrès international d'Électricité de Marseille, dans le but de la faire connaître mieux qu'elle ne l'est encore en dehors de l'Amérique, d'en démontrer les avantages et de la mettre à la portée de toutes les nations.

A Marseille, déjà, beaucoup de personnes avaient exprimé à l'auteur leur désir qu'un vœu formel fut émis, par le Congrès, en faveur de la définition et de la mesure industrielles qu'il préconise. Malheureusement, on y avait songé trop tard. L'auteur

avait consenti cependant, dès lors, à ramener la question sur le tapis à la prochaine occasion, c'est-à-dire au Congrès de Turin. Il espère que ses vues recevront, à ce Congrès, l'accueil sympathique qu'elles avaient déjà reçues à Marseille et qu'on lui promettait d'avance pour une nouvelle occasion. Il espère que ce Congrès leur fera faire un pas en avant vers le but de l'adoption internationale qu'il vise et qu'il espère depuis si longtemps d'atteindre, pour la définition et la mesure de l'accélération des trains, qu'il a eu l'honneur de discuter et de proposer encore une fois, en faisant cette communication.

DISCUSSION

M. C. O. MAILLOUX (New York), Président. — *A Marseille, ma communication fut suivie d'une appréciation de la part de mon ami et collègue distingué M. R. Legouëz, de Paris. laquelle présente tout autant d'intérêt et d'actualité que si elle avait été faite ici même. Je propose qu'on en fasse lecture. Cette proposition étant approuvée par la Section, lecture est faite des remarques de M. Legouez, comme suit:*

M. R. LEGOUEZ (Paris). — *C'est sur notre initiative que M. Mailloux a bien voulu faire à la Cinquième Section du Congrès des Applications de l'Éléctricité à Marseille sa communication sur la mesure industrielle de l'accélération.*

Il y a très brillamment exposé les motifs qui militent en faveur de l'adoption, par les électriciens qui s'occupent de traction, d'une unité pratique d'accélération, *le kilomètre à l'heure par seconde.*

Nous ne nous dissimulions pas qu'il y avait quelque difficulté à faire admettre par des électriciens, fidèles au système C. G. S., une unité qui paraît s'en écarter. Mais nous comptions sur toute la science et sur toute l'habileté de M. Mailloux pour les convaincre que le rôle d'un Congrès des Applications industrielles de l'Électricité était de rechercher tout ce qui pouvait favoriser l'industrie électrique et aider à sa diffusion dans le monde des ingénieurs.

De même que les électriciens qui s'occupent de la vente de l'électricité

pour l'éclairage ont su admettre comme unité le kilowattheure qui répondait mieux aux habitudes et aux besoins de leur clientèle, il nous semble que ceux d'entre eux qui s'occupent de traction ne doivent pas oublier que l'unité usuelle de vitesse dans les chemins de fer est le kilomètre à l'heure. N'est-il pas naturel de mesurer l'accélération par la variation de cette vitesse et non par celle d'une vitesse au mètre ou au centimètre par seconde, qui n'est nulle part en usage.

M. Mailloux démontre qu'en acceptant comme unité d'accélération le kilomètre à l'heure par seconde, *on emploie une unité pratique qui ne diffère de l'unité C. G. S. que par un facteur 3, 6. C'est précisément un facteur du même ordre que celui qui permet de passer du kilowattseconde au kilowattheure.*

Mais nous irons plus loin encore que lui et nous n'hésiterons pas à dire qu'il n'y a aucune raison d'imposer le système des unités purement C. G. S. pour la mesure de l'accélération d'un train, qui n'a rien d'électrique. Persister dans cet usage, ce serait faire preuve d'un manque de sens industriel et de beaucoup de snobisme.

M. C. O. Mailloux (New York), Président. — *Ainsi qu'il est mentionné dans ma Communication, c'est parce que l'on y a songé trop tard à Marseille, que l'on n'a pas pu donner suite au désir de plusieurs Membres de faire étudier cette Communication par un Comité dans le but de formuler un vœu. Sur ma demande, un Comité a déjà été constitué, au sein de cette Section, aujourd'hui, pour s'occuper spécialement de la question de la définition et de la mesure industrielles de l'accélération des trains, qui est traitée dans ma communication. Je désire maintenant proposer que ce Comité soit officiellement saisi de cette question par la Section, avec prière de présenter son Rapport à la séance de vendredi.*

Le Rapport présenté par M. L. M. Barnet-Lyon au nom du Comité spécial, fut le suivant:

M. L. M. Barnet-Lyon (La Haye). — *Le Comité spécial nommé par cette Section à la séance précédente, et dont j'ai l'honneur d'être le rapporteur, s'est réunie hier. Tous les membres de ce Comité étaient présents. M. Mailloux, président de la Ve Section, et auteur de la Communication que le Comité était tout spécialement chargé d'etudier, était aussi présent. J'ai le plaisir de vous annoncer que le Comité s'est trouvé spontanément d'accord, à l'unanimité, au sujet de la Communication de M. Mailloux, et des idées qu'il y a exposées concernant la définition et la mesure industrielles de l'accélération des trains. Le Comité est unanimement d'avis qu'il y a lieu que cette Section et le Congrès même prennent une résolution dans le sens proposé par M. Mailloux.*

Le Comité que la Ve Section du Congrès International des Applications de l'Électricité de Turin a chargé d'examiner la proposition de Monsieur Mailloux concernant la définition et la mesure industrielles de l'accélération des trains a l'honneur de présenter les conclusions suivantes :

considérant que, dans la pratique de l'industrie des transports, la vitesse des trains est toujours exprimée en kilomètres à l'heure (ou bien en milles ou en verstes à l'heure) et que cette expression est d'usage absolument universel;

considérant qu'il est logique de partir de cette définition de la vitesse d'un train pour en exprimer l'accélération par seconde;

considérant que cette définition de l'accélération des trains est la seule employée en Amérique et qu'elle est d'usage déjà répandu dans d'autres pays;

considérant que cette proposition a déjà reçu un accueil favorable au Congrès International des Applications de l'Électricité de Marseille en 1908,

le Congrès émet le vœu que:

1. L'accélération des trains soit exprimée en kilomètres à l'heure par seconde (ou bien en milles ou en verstes à l'heure par seconde).

2. Que la Commission Électrotechnique Internationale soit saisie de ce vœu.

Signé par MM. Legouëz, von Kando, L'Hoest, Sartori, Barnet-Lyon.

Je désire maintenant proposer à la Ve Section, que le Rapport que je viens de lire soit adopté et que le vœu formulé par le Comité contenu dans ce Rapport, soit présenté au Congrès pour être adopté officiellement à la séance plénière de cloture qui aura lieu demain, samedi, 16 septembre.

M. KALMAN von KANDO (Vado Ligure). — *Je suis heureux d'appuyer cette proposition. Je sais par expérience personnelle que la mesure de l'accélération employée en Amérique par tous les ingénieurs — le mille à l'heure par seconde — est très pratique et d'usage bien commode. Je me suis souvent demandé pourquoi l'on n'avait pas adopté depuis longtemps, en Europe, la mesure analogue préconisée par M. Mailloux — le kilomètre à l'heure par seconde, au lieu de l'unité en usage — le mètre ou le centimètre par seconde par seconde. M. Mailloux a parfaitement raison de dire que nous devons faire une* traduction de vitesses *chaque fois que nous nous servons de mètres par seconde par seconde pour exprimer les variations* par seconde *d'une vitesse en* kilomètres à l'heure, *et que ceux qui ne peuvent pas faire cette traduction ne comprennent réellement pas. M. Mailloux nous a fait voir logiquement et clairement qu'il n'est pas nécessaire de faire intervenir une vitesse* en mètres par seconde

pour savoir la vitesse en kilomètres à l'heure *qu'un train aura* gagnée *ou* perdue *au bout d'un certain nombre de secondes, et qu'il vaut bien mieux dire tout de suite combien de* kilomètres *l'on gagne* à l'heure *où l'on perde*, par seconde. *Nous devons tous savoir gré à M. Mailloux d'avoir présenté une étude si claire, si complète et si logique, sur une question d'un très grand intérêt pratique pour les techniciens de la traction électrique. J'ai été bien satisfait de constater que tous les Membres du Comité étaient du même avis et d'accord en faveur de la mesure de l'accélération proposée par M. Mailloux. J'espère que la Ve Section approuvera et adoptera à l'unanimité le Rapport du Comité.*

La proposition, mise aux voix, est adoptée par la Section, à l'unanimité.

L'application de l'électricité aux bateaux sous-marins.

Rapporto sul Tema N. 22 del Congresso.

Relatore Ing. Agostino Bezzi (Spezia).

La navigation sous-marine, qui est encore dans l'enfance de sa vie, a ouvert dans ces dernières années un nouveau débouché d'application de l'énergie électrique.

Ce débouché qui n'a pour objet que d'apporter un perfectionnement à l'art de la guerre, n'aura pas la portée d'autres applications plus utiles et plus pratiques au point de vue sociale, mais il est cependant appelé à intéresser en particulier les spécialistes de l'électrotechnique.

On n'aperçoit jusqu'à présent d'autre utilité de la navigation au-dessous de la surface de la mer que la guerre, car, même pour les recherches scientifiques le sous-marin moderne, comme il est projeté et construit, ne pourrait pas être employé. Toutefois comme arme de guerre il a désormais atteint un tel degré de perfection et il inspire tant de confiance à ceux qui s'en servent et de terreur à ceux qui s'en savent menacés, que justement on lui doit assigner un des rôles les plus importants dans les flottes modernes. Et ce n'est pas exagéré d'affirmer que l'emploi de l'électricité dans la navigation sous-marine a été jusqu'aujourd'hui le moyen le plus efficace pour le progrès de cette branche de l'art de la guerre navale, qui, autrement, aurait été empêchée dans son développement par des difficultés presque insurmontables.

La couche d'eau qui enveloppe le sous-marin quand il est immergé le sépare absolument de l'air atmosphérique, ce qui oblige ses machines à être telles à pouvoir, pendant leur fonctionnement, se passer de l'oxygène de l'atmosphère. Si l'on pense que presque toutes les sources d'énergie dont nous pouvons disposer sont fondées sur la combustion avec l'oxygène, on jugera aisément comment le nombre des machines qui peuvent être appliquées dans ce cas doit être limité. Seulement l'énergie électrique accumulée et la tension élastique des vapeurs ou des gaz comprimés dans des réservoirs convenables, correspondent aux exigences des moteurs pour les sous-marins, mais ces deux sources d'énergie n'ont pas toutes les deux les mêmes avantages.

Les suivants que je vais enumérer, et qui sont en partie communs aux deux systèmes, ont donné décidément la supériorité jusqu'à présent à l'énergie électrique obtenue par accumulateurs.

1° Aucun besoin d'air ou d'autre agent extérieur.

2° Aucune variation de poids pendant le fonctionnement des machines.

3° Absence absolue de produits gazeux ou d'autre nature, qui doivent être chassés dehors pendant le fonctionnement et rendent visible la présence du sous-marin par suite du bouillonnement de l'eau à la surface.

4° Absence de bruit et sûreté presque absolue pendant la marche sous l'eau.

Il est difficile de prévoir si avec d'autres sources d'énergie il sera possible de réunir tous ces avantages ou seulement quelques-uns d'entre eux.

On sait que maintenant dans plusieurs endroits on s'efforce de rendre possible sous l'eau le fonctionnement des moteurs à combustion, et plusieurs études ont déjà été faites dans cette direction.

Le problème est très intéressant, car il s'agit de diminuer énormément le poids mort qu'à égalité d'énergie on doit embarquer dans le bateau, poids qui, même avec les types les plus légers d'accumulateurs, est toujours affreusement fort.

Malheureusement il semble que le problème soit encore bien éloigné de sa résolution pratique et à l'état actuel de la question on ne peut enregistrer que quelques expériences de laboratoires. Peut-être des essais plus importants suivront sous peu de temps,

mais mon opinion est que pour quelques années encore il sera nécessaire de se résigner à la pitoyable augmentation de poids mort due aux batteries d'accumulateurs électriques.

Batteries.

Les batteries destinées aux bateaux sous-marins ont été jusqu'à présent classées parmi les batteries transportables, en les ressemblant aux ordinaires batteries de traction employées pour les automobiles et les tramways électriques, parce que les exigences de volume et de poids ont toujours obligé à employer les types d'accumulateurs à grande capacité en usage dans les batteries de traction. Mais avec les déplacements toujours croissants des sous-marins modernes, les batteries deviennent d'une puissance toujours plus grande: l'on exige logiquement une durée de vie toujours plus longue; leur installation se fait dans des conditions d'espace toujours améliorées, ce qui va rapprocher sensiblement les qualités caractéristiques des batteries des sous-marins plutôt aux batteries stationnaires qu'à celles de traction.

Pour donner une idée de l'importance de ces batteries je me référerais à quelques bateaux de construction récente, en choisissant ceux qui possèdent des batteries qui peuvent être comparées, dans l'hypothèse que la durée normale de la décharge soit la même pour toutes, c'est-à-dire trois heures.

Puissance en Kwh. à la décharge de 3 heures.

Type du bateau	Déplacement	Puissance des moteurs électriques	Kw. avec $\eta = 0,9$	Kwh.
Hvalen (Suède) . . .	250 tons.	220 chevaux	180	540
Velella (Italie) . . .	300 „	300 „	246	738
Trasher (U. S. A.) . .	450 „	415 „	340	1020
Mariotte (France) . .	1000 „	800 „	650	1950

Ce n'est pas hasardeux d'affirmer que la puissance des batteries croîtra encore, car le déplacement de 1.000 tonnes sera vite dépassé.

Le choix de la batterie électrique, pour chaque type de bateau, doit tenir compte d'une série de conditions qui dépendent du poids disponible, du volume occupé, de la vitesse à réaliser sous l'eau, et enfin, mais en voie tout-à-fait secondaire, du prix. Jusqu'à présent l'accumulateur au plomb a tenu incontestablement le champ et les nombreux types de ces accumulateurs diffèrent entre eux uniquement par des particularités de construction spéciales pour chaque fabrique d'accumulateurs. Seulement dans ces dernières années ont paru sur le marché les accumulateurs alcalins au fer-nikel, dont les deux types les plus accrédités sont actuellement le Jungner suédois et l'Edison américain, qui paraissent destinés à faire concurrence à l'ancien accumulateur au plomb, dans l'application aux bateaux sousmarins.

Les avantages qu'auraient ces deux derniers types seraient assez importants, spécialement à l'égard de l'économie de poids, de volume et de la très grande durée. Le tableau qui suit, compilé en base de données garanties par les Maisons Constructrices, montre approximativement les rapports de volume, de poids et de prix pour les différents types d'accumulateurs qui peuvent être employés dans une batterie de sousmarin, rapportés au kilowattheure, toujours dans l'hypothèse d'une décharge de 3 heures.

Pour 1 Kwh. à la décharge de 3 heures.

Type de l'accumulateur	Poids en kg.	Volume en dcm³	Prix en francs	Notat. pour type
Au plomb, avec plaques positives Planté	73,5	37	196	I
Au plomb, avec plaques positives empâtées	62,0	24	200	II
Au plomb, avec plaques de grande capacité	56,0	19	190	III
Au fer-nikel, type Edison	42,0	18	340	IV
Au fer-nikel, type Jungner	43,0	20	338	V

En supposant qu'entre certaines limites ces rapports restent inaltérés quelle que soit la puissance de la batterie, ce qui est approximativement exact, l'on pourrait aisément déduire les

poids, l'encombrement et le prix des batteries que j'ai citées plus haut. En se référant respectivement à des batteries de 500, 750, 1000 et 2000 Kwh. de puissance, valeurs qui leur sont très peu différentes, on peut composer le tableau suivant (Tableau *A*).

TABLEAU *A*.

Type de l'élément	Batterie de Kwh.			
	500	**750**	**1000**	**2000**
		Volume en mètres cubes.		
I	13,50	20,25	27,00	54,00
II	12,00	18,00	24,00	48,00
III	9,50	14,25	19,00	38,00
IV	9,00	13,50	18,00	36,00
V	10,00	15,00	20,00	40,00
		Poids en tonneaux.		
I	36,75	55,12	75,50	147,00
II	31,00	46,50	62,00	124,00
III	28,00	42,00	56,00	112,00
IV	21,00	31,50	42,00	84,00
V	21,50	32,25	43,00	86,00
		Prix en francs.		
I	98.000	147.000	196.000	392.000
II	100.000	150.000	200.000	400.000
III	95.000	142.000	190.000	380.000
IV	170.000	255.000	340.000	680.000
V	169.000	253.000	338.000	676.000

Les chiffres assez intéressants, spécialement ceux relatifs au prix, justifient l'importance que l'on donne toujours à la batterie dans l'armement d'un sous-marin.

Dans le tableau j'ai placé les accumulateurs alcalins à côté des accumulateurs au plomb, en me basant exclusivement sur les données fournies par les Maisons fabriquantes; je dois avouer que ces données ne méritent pas autant de foi que celles rela-

tives aux éléments au plomb, qui ont déjà la sanction d'une longue et favorable expérience.

Pour les accumulateurs au fer-nikel on n'a pas encore aujourd'hui aucune expérience pour des batteries de la grandeur et de la capacité dont il s'agit pour les sous-marins. La seule expérience assez longue est fondée sur l'emploi de petites batteries pour les automobiles et ce n'est pas absolument exact de déduire les qualités d'une grande batterie de celles des petites batteries, spécialement quand ces dernières travaillent dans des conditions tout à fait différentes que celles d'un sous-marin.

Cependant pour compléter la comparaison entre les deux types d'accumulateurs il faut tenir compte de la durée de vie des éléments, c'est-à-dire du nombre total de décharges qu'ils peuvent supporter avant d'être pratiquement inutilisables. Pour les raisons exposées plus haut, j'admetterai pour les accumulateurs alcalins un nombre de décharges beaucoup moindre que celui garanti par les fabricateurs, c'est-à-dire 400-500 décharges, au lieu de 600-700, toujours à la décharge de 3 heures. On pourra donc admettre pour les différents types les nombres suivants de décharges:

250	pour le	type	I
200	„	„	II
150	„	„	III
400-500	„	„	IV et V.

Il s'ensuit que le prix du Kwh. rapporté au nombre total de Kwh. qu'un élément peut décharger pendant sa vie, dans l'hypothèse qu'il soit toujours déchargé au régime de 3 heures, sera donné par le tableau suivant:

Type	Prix du Kwh. pour 1 décharge	Nombre des décharges	Prix du Kwh. par rapport au nombre total des décharges
I	196	250	0,78 F.; c.; s.
II	200	200	1000
III	190	150	1,26
IV	340	400	0,85 et 0,68 avec 500 décharges
V	338	400	0,845 „ „ „

De ce tableau on déduit que la supériorité des accumulateurs alcalins au point de vue du prix par Kwh est incontestable, si l'on admet un nombre de décharges de 500; ce que j'ai déjà dit est bien inférieur à celui garanti par les Maisons fabriquantes. Dans la comparaison qui précède je n'ai pas tenu compte des frais d'entretien des batteries, qui sont assez hauts pour tous les types; naturellement chaque fabriquant soutient que son type est le plus économique pendant le fonctionnement, en sorte que, faute d'expérience, j'ai trouvé convenable de négliger ces frais et de les supposer égaux pour tous.

L'installation des batteries d'accumulateurs dans les bateaux sous-marins présente des difficultés bien plus grandes que celle des batteries stationnaires, surtout à l'égard de l'isolation et de la ventilation.

Le fait qu'il n'est pas absolument possible d'avoir une batterie parfaitement isolée de la coque métallique, a été toujours la cause principale qui a entravé l'adoption à bord des sous-marins des tensions un peu élevées (environ 500 volts), qui sont les plus employées dans les installations terrestres de traction.

Dans un article de Monsieur J. Bréguet, paru sur *La lumière électrique* en 1910, on parle de la possibilité d'employer le voltage de 500 volts dans les sous-marins dans le but de rendre moins lourds les moteurs et les conduits du courant.

Certainement avec une telle tension on pourrait réaliser de très grands avantages, mais selon moi ces avantages seraient toujours inférieurs aux inconvénients que le fonctionnement d'une batterie de 500 volts ne manquerait d'entraîner avec soi. Même pour les navires ordinaires, qui naviguent à la surface et n'ont pas de batteries d'accumulateurs, on a toujours adopté des tensions très basses, qui seulement en voie d'exception ont surpassé les 110 volts. La Maison Siemens-Schuckert a fait récemment une installation pour les machines du navire-aide pour submersibles *Vulcan* de la Marine Allemande, avec la tension de 440 volts, réduite à 110 volts pour l'éclairage; mais, quoique l'on dise que nul inconvénient s'est jamais vérifié, le cas est resté isolé.

Dans la Marine Italienne, il y a déjà plusieurs années, l'ingénieur Laurenti a essayé la tension de 440 volts, sur le sous-marin *Delfino*, mais la difficulté d'obtenir une bonne isolation lui a fait préférer dans les constructions suivantes le voltage bien moins haut, de 220 et même de 110 volts.



L'ambiant intérieur du sous-marin est toujours saturé d'humidité, dont la précipitation est favorisée par les variations de température et de pression. L'air saturé de vapeur d'eau à une température élevée de 40-50 centigrades, dépose cette vapeur sur tous les objets sous forme d'une faible couche liquide, lorsque la température décroît à sa valeur normale. Le même effet est produit par les variations soudaines de pression. Un phénomène caractéristique que l'on remarque dans le sous-marin quand il vient à la surface après une longue navigation sous l'eau et qu'il ouvre soudainement les écoutilles, c'est la formation instantanée d'un épais brouillard, qui s'évanouit rapidement en se dépositant sur les objets en forme de petites gouttes d'eau. Le fait est dû à l'augmentation de pression qui a eu lieu dans l'intérieur du bateau pendant l'immersion à cause de la chaleur développée par les machines électriques et des pertes inévitables du tuyautage et des soupapes de l'air comprimé.

Quand on ouvre les écoutilles la pression diminue jusqu'à la valeur de la pression atmosphérique, et l'expansion combinée avec le refroidissement produit la condensation de la vapeur.

Dans un ambiant si riche d'humidité, où il est très difficile d'assurer une ventilation efficace d'air sec, il n'est pas possible d'éliminer les causes de mauvaise isolation, dont la plus importante est la formation du voile liquide, qui met en communication électrique les accumulateurs entre eux et avec les parties métalliques de la coque. A bord de quelques sous-marins russes du type Lake, qui sont pourvus de grandes batteries dont les éléments pèsent chacun 1200 Kg., on a essayé d'améliorer les conditions d'isolation en plongeant toute la batterie dans la paraffine, qui était coulée liquide entre les éléments après leur systémation.

Seulement la partie supérieure des éléments était en contact avec l'air; cependant je crois que ce procédé n'ait pas donné d'excellents résultats, car il n'a plus été appliqué dans la suite, peut-être aussi en vue du danger qui pourrait dériver de la paraffine qui est une substance assez facilement combustible.

Une autre cause de mauvaise isolation est la nécessité de ventiler la batterie pendant la charge, pour convoyer hors du bateau les gaz explosifs qui se développent en abondance surtout à la fin de la charge.

Dans certaines installations, comme chez les ***Holland***, on laisse se dégager librement le gaz et on le laisse se répandre dans la

partie inférieure de la chambre de la batterie, qui est séparée de la partie supérieure au moyen d'un plancher étanche; on pourvoit ensuite à leur expulsion hors bord en employant des ventilateurs et des aspirateurs centrifuges. Mais ce n'est pas là le système que l'on emploie le plus fréquemment.

Les accumulateurs étant placés dans des chambres habitables du sous-marin sont pourvus chacun d'un couvercle étanche qui a un trou pour la sortie des gaz pendant la charge.

A ce trou on applique un tuyau en caoutchouc ou en ébonite, qui va aboutir dans un système spécial de tuyautage, d'où les gaz sont aspirés et poussés hors bord à l'aide d'un électro-ventilateur centrifuge. Il y a deux différents procédés pour appliquer ce système de ventilation.

1° Aspirer au moyen d'un aspirateur les gaz qui se dégagent pendant la charge, et les convoyer simplement hors bord.

2° Mélanger avec ces mêmes gaz une certaine quantité d'air de façon que le mélange résultant ne soit plus explosif, et ensuite pousser ce mélange hors bord.

Ce 2me système est sans doute toujours préférable, car il empêche que pendant la charge dans une partie quelconque du submersible, même dans le tuyautage des gaz et dans les éléments, il y ait un mélange explosif. Le pourcentage de gaz éclatant qui doit être mélangé à l'air pour éviter l'explosion est à peu près le 9 % en volume.

En revenant à ce que je disais à propos du défaut d'isolation causé par le tuyautage de ventilation de la batterie, on peut l'expliquer aisément en considérant que les parois intérieures de ces tubes sont toujours couvertes par une couche d'humidité saturée d'acide sulfurique qui s'y dépose pendant les charges. Cette couche est un moyen très bon conducteur de l'électricité et par conséquent il met en connexion électrique les éléments entre eux et avec la coque métallique.

Avec les batteries alcalines au fer-nikel le défaut sera encore plus important, car le développement de gaz pendant la charge est plus abondant, ce qui impose l'installation d'un tuyautage plus grand, qui a par conséquent une plus grande surface; d'autant plus que les hydrates de potasse ou de soude transportés par le gaz sous la forme de petites gouttes en contact avec l'acide carbonique de l'air se transforment en carbonates, qui se déposent sous forme solide sur les surfaces des tubes et constituent un véritable conducteur solide.

Pour ces batteries alcalines, comme il n'a pas encore été fait aucune installation à bord, le problème de la ventilation n'a pas été étudié; le fait de ne pouvoir pas permettre à l'air de venir en contact avec l'électrolite alcalin obligera à changer les systèmes de ventilation ou du moins à les modifier dans leur détails.

Je pense toutefois qu'en dépit des incertitudes et des inconvénients que l'application des batteries alcalines porte encore avec soi on devra bien vite, au moins en voie expérimentale, les adopter dans les bateaux sous-marins, où la question du prix et du mauvais rendement électrique a bien peu d'importance, en comparaison des avantages relatifs au poids et au volume.

Seulement l'expérience pratique suivie d'un résultat décisif peut démontrer si le nouvel accumulateur est capable ou non de réaliser les grandes espérances qu'il a excitées dans le monde technique.

Moteurs de propulsion.

Puisque la source d'énergie d'un sous-marin ne peut être qu' une batterie d' accumulateurs, les moteurs nécessairement ne peuvent être que des moteurs à courant continu; et puisqu'ils doivent être employés comme dynamos pour la charge des batteries, il s'ensuit qu' ils doivent être des moteurs en dérivation. D'ailleurs, en considérant aussi la nature de la résistance appliquée, c'est-à-dire la résistance de l'hélice, dont le couple varie avec le nombre de tours, et est minimum au démarrage, il en résulte que le moteur à courant continu en dérivation est le plus convenable pour le but dont il s'agit. C'est vrai qu'il y a quelques constructeurs, par exemple la Maison Siemens-Schuckert, qui préfèrent bobiner les moteurs pour les sous-marins comme des moteurs compound, en ajoutant au bobinage en dérivation un petit bobinage en série, qui a pour but de rendre plus uniforme la marche du moteur et de lui permettre de supporter mieux les surcharges instantanées du démarrage et d'autres causes accidentelles.

Ce bobinage en série est presque toujours éliminé au moyen d'un couteau de court circuit, lorsque les moteurs fonctionnent comme générateurs pour la charge de la batterie. Toutefois même dans ce type de moteurs que l'on pourrait appeler *hypocompound* la plus grande intensité du flux inducteur est toujours due au

bobinage en dérivation et on s'en sert pour le réglage de la vitesse ; par conséquent on peut les classer parmi les moteurs en dérivation, sans crainte d'erreur.

Le projet et la construction des moteurs électriques pour la propulsion des sous-marins ne présente pas en général plus de difficulté que les problèmes de l'électrotecnique ordinaire; cependant il vaut la peine que les spécialistes de la matière connaissent exactement les conditions auxquelles doit répondre un bon moteur pour sous-marin, pour pouvoir en tenir compte même si elles ne sont pas specifiées dans les contrats de fourniture.

Naturellement dans chaque cas particulier il faut donner plus d'importance à une condition qu'à l'autre, selon les idées de l'auteur du projet du bateau et selon les exigences des marins qui devront naviguer à son bord.

Cependant je crois que les qualités que je vais énumérer doivent être communes aux moteurs électriques de tout sous-marin.

1° Réglage très étendu du nombre des tours et facilité de manœuvre (démarrage et renversement).

2° Fonctionnement comme dynamo à un nombre de tours en général très différent de celui comme moteur, et en cette condition fournir la plus grande puissance possible en Kwh. à la tension variable nécessaire pour la charge de la batterie.

3° Le meilleur rendement possible à toutes les vitesses pour éviter le chauffage du moteur et en conséquence du local qui a des dimensions toujours très restreintes.

4° Poids et volume d'encombrement réduits au minimum.

Pour ce qui concerne le réglage du nombre de tours, plusieurs systèmes, dont je rappellerai seulement les plus importants, sont appliqués par les constructeurs.

Réglage au moyen des résistances d'induit.

Cette méthode, qui est évidemment la moins avantageuse pour une bonne utilisation de l'énergie, était employée sur les premiers sous-marins.

Son application n'est pas mauvaise quand'il s'agit de moteurs de petite puissance, qui fonctionnent à une tension pas trop basse: 240 volts environ. Mais pour les machines de puissance assez grande des sous-marins modernes, il n'est pas possible l'appliquer sans rencontrer des difficultés très sérieuses:



1° Consommation énorme d'énergie dans les résistances.

2° Difficulté de manœuvre à cause des arcs sur les contacts mobiles du controller, où passent des courants de très forte intensité.

3° Développement excessif de chaleur pendant la marche sous l'eau.

4° Encombrement excessif de l'appareil de manœuvre, à cause du volume des résistances.

Réglage par variation du flux inducteur.

C'est le système préféré, ayant l'avantage de permettre un bon rendement du moteur à toutes les allures, avec des rhéostats de champ qui consomment peu d'énergie, développent peu de chaleur et sont peu encombrants.

Naturellement pour appliquer cette méthode il ne faut pas prévoir une variation de vitesse supérieure au 50-60 °/₀ de la normale, pour éviter des moteurs trop lourds et de mauvais rendement.

La variation assez étendue du flux inducteur est aussi très utile dans le fonctionnement comme dynamo pour la charge de la batterie, où l'on doit varier le voltage entre des limites assez éloignées, en laissant à peu près invarié le nombre de tours.

Réglage par variation de la tension de ligne.

On emploie deux tensions différentes, dont l'une est le double de l'autre, obtenues en accouplant en série ou en parallèle les deux moitiés de la batterie; les tensions sont généralement 110 et 220 volts.

Ce système, appliqué récemment sur le *Mariotte*, de la Marine Française, a été, depuis plusieurs années, employé sur le bateau-type *Glauco* de la Marine Italienne, avec des résultats satisfaisants.

Il permet un réglage double avec le rhéostat du courant inducteur, c'est-à-dire un premier réglage avec le voltage de 110 V aux balais du moteur, et un second réglage avec le voltage de 220 volts; la tension du courant inducteur reste toujours la même.

La charge des accumulateurs a lieu le plus souvent avec les

deux moitiés de la batterie accouplées en parallèle. Pour les services auxiliaires du bord, c'est-à-dire l'éclairage, les ventilateurs, les pompes, etc., on emploie la plus basse des deux tensions.

Cette méthode exige que lorsqu'on passe de l'accouplement en série à celui en parallèle on doit insérer de nouveau les résistances de démarrage, ce qui rend un peu lourd l'appareil de manœuvre.

En outre la condition de pouvoir changer l'accouplement des batteries an moyen de l'appareil de manœuvre complique sensiblement les connexions des câbles conducteurs dans la chambre des machines, où en général il n'y a pas trop de place.

Réglage avec moteurs à deux collecteurs.

Il a été appliqué à bord du sous-marin *Archimède* de la Marine Française, et par l'Ing. Laurenti à bord du sous-marin italien *Foca*, avec un très bon résultat. Dans ce dernier bateau les moteurs électriques avec tension constante de 110 V. environ peuvent marcher de 80 à 400 tours, sans aucune résistance d'induit et avec un bon rendement.

La spécialité du système consiste dans le bobinage de l'induit, qui est constitué par deux bobinages identiques qui aboutissent à deux collecteurs séparés, un d'un côté et l'autre du côté opposé de l'induit. On a, pour ainsi dire, un groupe constitué de deux moteurs compénétrés, mais dont le champ inducteur est unique.

Pour la manœuvre on peut accoupler les deux collecteurs en série ou en parallèle en se servant de l'appareil de commande, et régler la vitesse par le rhéostat du courant inducteur, soit avec un accouplement, soit avec l'autre.

Cependant à cause du champ inducteur unique il n'est pas possible de passer avec continuité de l'accouplement en série des collecteurs à celui en parallèle, parce qu'il est nécessaire pour cela d' interrompre le circuit du moteur, en insérant de nouveau les résistances de démarrage.

Quand sur le même arbre d'hélice sont installés deux moteurs électriques rigidement accouplés, le problème du réglage de la vitesse peut avoir deux solutions très avantageuses. L'une est la manœuvre ordinaire de série et parallèle des deux moteurs,

telle qu'on la fait dans les voitures motrices des tramways; l'autre est ce que l'on appelle insertion à deux moteurs (Zweimotorenschaltung), brevetée par la Maison Siemens-Schuckert.

La première diffère bien peu du système d'un moteur unique avec deux collecteurs, car les deux allures *grande vitesse* et *petite vitesse* sont obtenues en accouplant respectivement en parallèle et en série les induits des deux moteurs, tandis qu'au moyen des rhéostats de champ on peut non seulement régler les tours, mais aussi charger également les deux moteurs quand ils marchent en parallèle.

L'avantage de ce système est de permettre le passage de la série au parallèle sans arrêter la marche des moteurs, étant suffisant pour cela d'insérer une autre fois les résistances de démarrage, ce que l'on fait simplement par la manœuvre du controller. Puisque au démarrage et au renversement les moteurs sont toujours accouplés en série, les résistances de démarrages peuvent être assez peu encombrantes.

Ce système est appliqué dans le sous-marin *Trasher* U. S. A.

Zweimotorenschaltung.

Avec cette méthode, qui permet un réglage de tours très étendu, il n'est pas nécessaire d'arrêter la marche ni d'insérer les résistances de démarrage pour passer de la série au parallèle. Comme dans le cas précédent, les deux moteurs qui sont de construction identique et sont rigidement accouplés sur le même arbre, ont au démarrage leurs induits en série et le flux inducteur maximum, ce qui permet d'avoir de très petites résistances de démarrage.

Ensuite par la manœuvre du controller on affaiblit graduellement le champ inducteur du moteur N° 1 en laissant invarié celui du moteur N° 2 (maximum). Puisque les induits sont en série, cela équivaut à enlever des résistances au circuit de l'induit N° 2, ayant diminué la f. é. m. du moteur N° 1.

Enfin on coupe le circuit inducteur de 1 et toute la charge va passer sur le moteur 2, qui augmente son ampérage et le nombre de tours en se trouvant à être directement inséré sur la tension de ligne. Dans cette condition on peut courtcircuiter le moteur 1, qui n'a pas de courant aux inducteurs et a son induit qui marche au même nombre de tours de 2. Alors on peut de nouveau exciter le champ de 1 jusqu'à une valeur

convenable et l'accoupler ensuite en parallèle avec 2 sur la tension de ligne sans aucune résistance. Dès ce moment les deux moteurs 1 et 2 marchent en parallèle et l'on peut régler leur charge et leur vitesse au moyen des rhéostats de champ.

Toutes les opérations sont exécutées par le controller, qui, même pour des moteurs assez puissants, ne demande pas un volume trop encombrant. Ce système est certainement préférable dans tous les cas où l'on a deux moteurs égaux sur le même arbre et l'on exige une grande variation du nombre de tours.

Rendement.

La question du rendement électrique dans les moteurs des sous-marins a une très grande importance pour les raisons suivantes:

1° Étant donnée la source dont on dispose, l'énergie électrique est précieuse et on doit l'utiliser aussi bien que possible, pour réaliser la plus grande vitesse et le plus grand rayon d'action sous l'eau.

2° Étant donnée qu'une diminution quelconque du rendement d'une machine électrique équivaut à une augmentation du nombre de watts qui se transforment en chaleur, il s'ensuit qu'un bon rendement est une condition essentielle pour éviter les hausses de température à l'intérieur du bateau.

Si l'on pense que même dans les bateaux modernes de grand déplacement la chambre des machines a un volume de quelques mètres cubes seulement, que les parois, quoique en contact avec l'eau renfermée dans les deux coques métalliques, ne sont pas refroidies par l'eau courante, qu'à l'intérieur il n'y a aucun renouvellement d'air, on comprendra aisément l'importance du chauffage.

Par exemple, en supposant que la chambre des moteurs électriques soit dans un grand bateau $6 \times 4 \times 3$ mètres $= 72$ m. c. avec la puissance de 800 HP $= 590$ KW, on a, en indiquant avec η le rendement électrique:

Si $\eta = 0{,}92$, l'énergie transformée en chaleur est

$$590 \times 0{,}08 = 47 \text{ KW};$$



si $\eta = 0{,}88$, l'énergie transformée en chaleur est

$$590 \times 0{,}12 = 71 \text{ KW};$$

c'est-à-dire dans une heure:

avec $\eta = 0{,}92$ se dégagent dans l'ambiant

$$47 \times 860 = 40.400 \text{ calories};$$

avec $\eta = 0{,}88$ se dégagent dans l'ambiant

$$71 \times 860 = 61.000 \text{ calories.}$$

Dans le second cas la même quantité d'air de 72 m^3 seulement doit transmettre aux parois une quantité de chaleur 35 % plus grande, ce qui ne peut arriver qu'avec un considérable surchauffage de l'air même.

Évidemment on ne peut pas toujours prétendre d'empêcher le chauffage de l'ambiant avec le bon rendement électrique du moteur; si la puissance des moteurs est trop grande par rapport au volume du local où ils sont installés, le chauffage sera inévitable, même si le rendement électrique est le meilleur que possible, c'est-à-dire 92-93 %.

De cela découle la nécessité absolue de prévoir dans un prochain avenir la construction de moteurs électriques avec des systèmes spéciaux de refroidissement, qui permettent de pousser hors bord la chaleur dégagée pendant le fonctionnement.

Pour ce refroidissement on peut employer comme moyen fluide l'air ou l'eau.

Le refroidissement au moyen de l'air serait le plus convenable pour les parties en mouvement, c'est-à-dire pour l'induit; mais dans la pratique on trouverait que ce n'est pas le système le plus simple.

Il faudrait moyennant des ventilateurs faire circuler une quantité donnée d'air à travers les parties du moteur qu'on veut refroidir, et ensuite pousser cet air dans des radiateurs spéciaux refroidis par l'eau de mer tenue en circulation par une pompe. L'air refroidi serait de nouveau aspiré par les ventilateurs et soufflé dans les moteurs. La chaleur serait emportée hors bord par l'eau de circulation des radiateurs.



Étant donnée la faible chaleur spécifique de l'air, il est à prévoir qu'un tel système aurait un très mauvais rendement pratique.

Le refroidissement au moyen direct de l'eau peut, au contraire, avoir une application très utile et satisfaisante, malgré quelques complications qu'il entraîne dans la construction des moteurs. Cela explique pourquoi à présent plusieurs constructeurs sont occupés à étudier un bon type de moteurs avec circulation d'eau, et la maison Siemens-Schuckert en a déjà construit et essayé un avec un très bon succès. La circulation d'eau est faite soit dans l'induit, soit dans les inducteurs, et on peut faire marcher le moteur avec charge normale et même avec des considérables surcharges en le maintenant complètement froid.

Le rendement électro-mécanique de la machine est un peu inférieur à celui des machines électriques ordinaires, mais la différence est heureusement compensée par les excellentes conditions de température du moteur et du local.

Je ne sais pas si jusqu'à présent on a fait des applications de moteurs semblables avec refroidissement d'eau; mais certainement on ne tardera beaucoup à le faire dans tous les bateaux qui ont une grande puissance électrique par rapport au volume intérieur.

Conclusion.

Dans ce qui précède j'ai tâché de rappeler les conditions les plus importantes et les difficultés que l'on rencontre dans l'équipement électrique des sous-marins. Plusieurs autres questions relatives aux appareils de manœuvre à commande directe et à commande indirecte au moyen de relais; aux machines auxiliaires du bord, qui augmentent toujours de nombre et d'importance, mériteraient d'être traitées dans un rapport complet sur les installations électriques des sous-marins.

Je me suis borné aux questions principales dans la conviction que cela suffira à démontrer le rôle important que joue l'électricité dans les bateaux sous-marins modernes, qui dans les flottes de toutes les Nations constituent l'arme, si non la plus formidable, certainement la plus insidieuse et dangereuse.



DISCUSSION

M. E. J. BRUNSWICK (Paris) *fait quelques observations concernant différents points de l'étude présentée par le Rapporteur.*

Notamment, M. Brunswick fait ressortir que les batteries sont, le plus souvent, réparties en 2 groupes permettant d'obtenir à volonté 120 ou 240 volts à l'aide de couplages appropriés.

La tension de 240 volts est la plus usitée, surtout pour les équipements des sous-marins de grande puissance.

Conformément à l'observation de M. le Rapporteur, l'emploi d'une tension de 500 volts serait tout à fait déconseillable pour les sous-marins, en raison des difficultés d' isolation.

La solution par moteur à 2 collecteurs et batterie unique (cas du Mariotte) est tout à fait équivalente à celle comportant le couplage de deux demi-batteries (cas de l'Archimède).

Ces 2 dispositions exigent l'intercalation momentaire de résistances dans le circuit induit au moment du changement de couplage; l'opération s'effectue automatiquement à l'aide de relais.

Enfin, le mode d'excitation compound est non seulement à recommander pour faciliter le démarrage mais encore pour stabiliser l'allure du moteur en cas de variation du couple résistant.

Le réglage de la vitesse s'obtient, en dehors des couplages des collecteurs ou des batteries par variation du flux, dans le rapport de 1 à 2 ou 3, ou encore 1 à 4 ou 1 à 6, pour l'amplitude totale de la variation de vitesse.

Les moteurs sont donc, en principe, d'un grand volume par rapport à leur puissance normale en charge à vitesse maxima.

Le fonctionnement à champ réduit, à vitesse maximum, conduit les

constructeurs à employer les machines à excitation compensée, qui sont plus parfaites, pour combattre la réaction d'induit, que les machines à simple pôles auxiliaires.

Enfin les dimensions très réduites imposées pour l'encombrement, ou le diamètre, viennent encore compliquer le problème.

En effet, si élevé que soit le rendement net en pleine charge (soit 0,92 à 0,93, ce qui est un maximum pour des puissances de 500 ch^x et au delà), le fonctionnement le plus fréquent s'opérant à quart de puissance environ, le rendement pratique descend aux environs de 0,80 à 0,85. Les pertes sont donc toujours importantes en valeur absolue et l'évacuation de la chaleur ainsi développée constitue un problème capital.

Les constructeurs ont de plus en plus tendance à employer des moyens de refroidissement artificiel, soit circulation d'eau, soit refroidissement de l'air, par circulation forcée et fourni par un ventilateur, ou encore par un système de réfrigérants à circulation d'eau très active.

En résumé, l'étude des moteurs de sous-marins, en raison des conditions particulières du problème, est une des plus délicates que le constructeur ait à considérer.

M. Max Roloff (Berlin). — *Monsieur Bezzi donne, dans son Rapport, un tableau où il compare les poids, les volumes et les prix des deux types d'éléments au plomb et au Nickel-Fer. Il constate que ces données sont déjà plus sûres pour les accumulateurs au plomb que pour les éléments alkalins et il a pris pour base de ses calculs les valeurs données comme garanties par les fabricants.*

Il est intéressant de comparer ces données avec les chiffres trouvés dans les recherches expérimentales d'experts absolument dignes de confiance, c'est-à-dire des fonctionnaires et des employés de Service technique d'État ou de grands établissements pour la construction de bateaux sous-marins.

Le tableau suivant contient des valeurs mesurées en pratique:

ÉLÉMENT	Kg/KWH	dm³/KWH	Temp.
Jungner	46,8	20,8	30° c.
Edison (Berlin)	49,5	16,0	44° c.
Plomb (+ empâtées)	55,3	20,8	réduites
Plomb (+ Planté)	62,4	21,0	à 15° c.

Ces décharges se rapportent au régime de courant de trois heures, et il est à remarquer que les mesures relatives aux éléments au plomb sont réduites à la température de 15° c. correspondant aux listes de garanties;

tandis que les valeurs des éléments alcalins se rapportent à des températures réelles observées pendant les essais.

Si l'on prend, pour les éléments au plomb, les valeurs des capacités correspondantes à la température de 30° c., on obtient les chiffres suivants:

Plomb (+ emp.)	48,7	18,3
Plomb (+ Planté)	55,7	18,4.

Ces capacités se rapprochent remarquablement de celles des éléments alcalins.

Pour les batteries des bateaux sous-marins, un devoir très important est de pouvoir débiter des courants très forts pour le dernier choc des attaques. Des Mariniers experts évaluent ces courants à la décharge totale en une heure où en moins de temps encore.

Si l'on prend ces capacités comme la vraie condition qu'on doit exiger des éléments, on obtient — également, d'après des mesures expérimentales, pour les courants de décharge en une heure — les résultats suivants:

	Kg.	dm^3	Temp.
Jungner	114	49,2	30° c.
Edison (Berlin)	90,5	29,0	44° c.
Plomb (+ emp.)	72,3	27,4	30° c.
Plomb (+ Planté)	82,0	27,1	

Il est remarquable que, si les batteries doivent être calculées non pas pour le service de paix, mais plutôt pour les attaques de guerre, les éléments au plomb ne sont pas en arrière sur les éléments alcalins.

La raison consiste dans la diminution différente des tensions moyennes, lorsque l'on augmente le courant, pour les éléments des deux types.

Les tensions moyennes des décharges sont, en volts:

	Décharge en		
	3 heures	1 heure	% Différ.
Jungner	1,10	0,94	14,5
Edison (Berlin)	1,06	0,81	23,6
Plomb (+ emp.)	1,86	1,73	7,1
Plomb (+ Pl.)	1,89	1,76	6,9

On doit penser encore à une circonstance qui, ordinairement, n'est pas prise en évidence.

Pour un élément Édison type A_4, la tension, au commencement, au régime de courant de trois heures, après une décharge de 10 °/₀ de la capacité, est de 1,215 volts. La tension finale est fixée, dans le tableau du travail connu de Holland, à 0,815. C'est une baisse de 0,400 volts, = 33 °/₀ du voltage au commencement. La tension moyenne est de 1,126 volts et la capacité est égale à 163 Ampère-heures et 186 Watt-heures.

Pour les éléments au plomb correspondants, la baisse de tension jusqu'à la fin est seulement de 10 °/₀. Par exemple, pour la décharge en 3 heures, la tension, pour un élément d'automobile après 10 °/₀ de décharge, est de 1,980 volts. La tension finale est de 10 °/₀ plus petite, = 1,782 volts. La tension moyenne est de 1,920 volts. Les capacités sont de 187 Amp.-heure et de 359 Watt-heures.

Si l'on prend la même méthode pour l'élément alcalin Édison A_4, la baisse de tension pour la décharge en 3 heures serait de 1,215 à 1,093. La capacité devrait être diminuée par l'interruption de la courbe de décharge déjà après 114 Amps.-heures de débit. La moyenne de tension serait 1,160 volts et l'énergie serait de 132, = 71 °/₀ du calcul fait en premier lieu.

Pour des décharges avec des courants de 1 heure, on a, pour l'élément:

					moyenne
Au plomb	Commencement	1,907	fin	1,716	1,851
Alcalin normal	„	0,99	„	0,54	0,80
à 10 °/₀	„	0,99	„	0,88	0,94

Les capacités seraient:

Élément au plomb	145 A.h.	318 w.h.
„ alcalin normal	160 A.h.	128 w.h.
„ à 10 °/₀	50 A.h.	47 w.h.

On voit par ces calculs que la tension d'un élément alcalin est épuisée à chaque décharge beaucoup plus que pour les éléments au plomb.

Pour les premiers on a:

Décharge en 3 heures, 1,215 — 0,815 = 33 °/₀
„ „ 1 heure, 0,99 — 0,54 = 45 °/₀

et pour les autres, seulement:

Décharge en 3 heures, 1,980 — 1,782 = 10 °/₀
„ „ 1 heure, 1,907 — 1,716 = 10 °/₀

Cette question est très rarement abordée, dans de pareilles comparaisons. Il est très peu probable qu'une batterie qui perd, à la fin de sa décharge, 33 °/₀ ou 45 °/₀ de sa tension, soit en état de suffire jusqu'à la fin à son devoir. Les moteurs électriques refuseront très probablement leur travail.

Pour les éléments au plomb la perte de 10 °/₀ de la tension ne ralentit pas la vitesse du moteur d'une manière appréciable.

Pour la vie des éléments sous-marins au plomb, Monsieur Bezzi donne des durées un peu trop faibles. On peut mettre, d'après les expériences faites en pratique, pour les positives, 300 décharges ou plus, pour les négatives, au moins le double.

Il n'est pas non plus nécessaire qu'après 300 décharges on renouvelle les éléments en entier; on devra seulement démonter les éléments, retirer les plaques, découper les positives et remonter l'élément.

Les frais du premier achat de batteries sont donnés, par Monsieur Bezzi, à la page 5 de son Rapport. Quand on compare les prix des batteries au plomb, pour leurs différentes grandeurs, avec ceux des éléments alcalins, on trouve que le prix des premiers est seulement 55 °/₀ du prix des autres.

Si, comme Monsieur Bezzi l'indique, il était nécessaire de renouveler toute la batterie après 250 décharges, on devrait, à ce moment, acheter, pour le même équipement, une nouvelle batterie. Ce seraient donc des frais d'achat de 110 °/₀, par comparaison avec une batterie alcaline qui supporterait sans séparation 500-600 décharges.

Mais si l'on doit, après 300 décharges ou davantage, remplacer seulement le plomb des plaques positives, la dépense sera de 30 °/₀ du prix primitif de la batterie; c'est-à-dire, pour avoir une batterie en bon état pendant 500-600 décharges, il ne faudrait dépenser en tout que 75 °/₀ du prix de la batterie alcaline correspondante.

Sezione VI

TELEGRAFIA E TELEFONIA

Presidente	W. A. J. O' Meara	(Inghilterra)
Vice Presidenti	Absalon Larsen	(Danimarca)
	Giovanni di Pierro	(Italia)
Segretario	E. Bellini	(Francia)

Les différents systèmes de télégraphie multiple.

Rapporto sul Tema N. 31 del Congresso.

Relatore Le Major W. A. J. O' Meara, C. M. G. (Londres).

1. — Introduction.

Cet article s'occupe des différents Systèmes de Télégraphie qui nous permettent d'utiliser le même fil de ligne pour la transmission de plusieurs correspondances distinctes soit dans une seule direction, soit en partie dans une direction et en partie dans une autre. Les systèmes qui fournissent plus d'une communication au moyen de la Balance Duplex seule, ou d'un circuit métallique avec superposition d'une ou deux communications, sont exclus à dessein.

Les Systèmes Multiplex se divisent en certaines classes distinctes, d'après la façon dont on utilise les courants pour la transmission. Ceux-ci sont indiqués par les divisions suivantes:

1ère Classe: Courants de travail variant non seulement en intensité mais aussi en direction.

2e Classe: Courants de travail d'assez haute fréquence fonctionnant conjointement avec d'autres de fréquences différentes, ou avec des courants télégraphiques ordinaires.

3e Classe: Courants de travail produits par une série d'impulsions transmises à de courts et très fréquents intervalles.

4e Classe: Courants de travail se composant d'un nombre d'impulsions d'une durée variable transmises à des intervalles réguliers.

Le peu de temps à ma disposition ne me permettra de m'occuper de chacun de ces systèmes; je me bornerai donc à ne mentionner que brièvement les principes qui s'y rapportent, chaque système étant, d'ailleurs, décrit en détail dans les ouvrages techniques. Toutefois, les avantages et les désavantages de chaque système mentionné seront énoncés ici, quoique d'une façon fort succincte.

2. — Le Morse Quadruplex.

La 1ère classe est bien représentée par ce qu'il est convenu d'appeler le Morse Quadruplex et ses nombreuses modifications. En termes de Multiplex, ce serait plutôt un Morse Double Duplex.

Quoique les traits principaux de ce système, depuis son introduction dans le service télégraphique de la Grande Bretagne, n'aient pas subi de changement, on s'est beaucoup appliqué, ces dernières années, à rendre le système plus flexible afin de pouvoir utiliser les communications disponibles de la façon la plus avantageuse.

Les derniers développements du système quadruplex sont indiqués par les figures suivantes, dans lesquelles les lignes représentent les communications et la flèche la direction du travail.

1° Le Quadruplex avec deux communications prolongées;

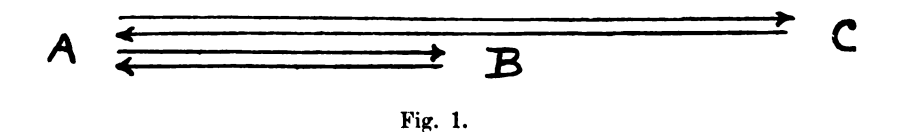


Fig. 1.

2° Le Quadruplex avec deux de ses communications reliées comme une seule à un fil omnibus;

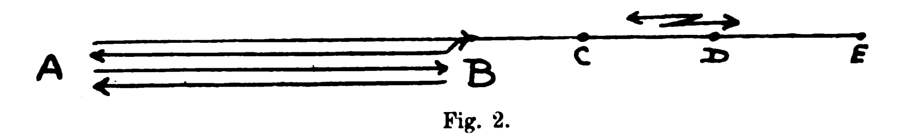


Fig. 2.

3° Le Quadruplex avec deux de ses communications reliées à deux autres d'un second quadruplex ;

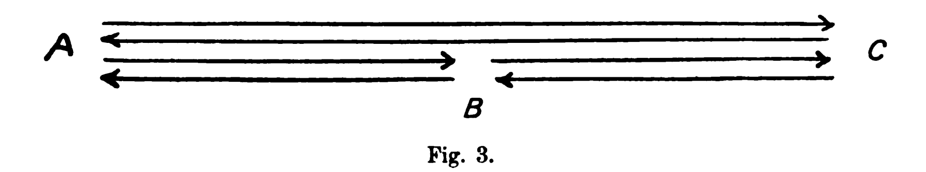


Fig. 3.

4° Le Quadruplex avec deux communications reliées à chacun de deux bureaux différents ;

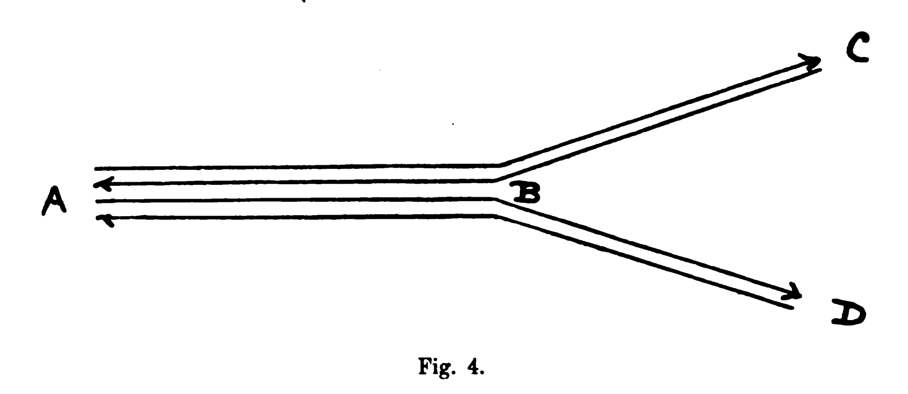


Fig. 4.

5° Le Quadruplex avec deux communications reliées à chacun de deux autres bureaux par un fil qu'ils utilisent en Quadruplex.

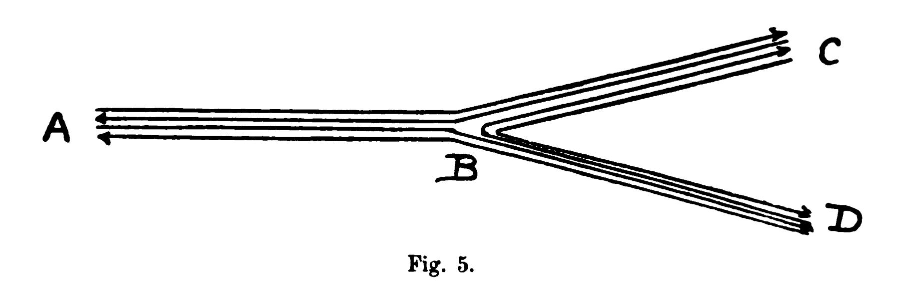


Fig. 5.

Dans les Iles Britanniques il existe un grand nombre de ces circuits prolongés. Dans deux cas, on emploie un translateur quadruplex sur des lignes formées d'une section de câble sous-marin d'une longueur de 80 milles (128 kilomètres) reliée à un fil aérien de 120 milles (192 kilomètres) environ. Le translateur

est très complexe, mais il fonctionne bien, étant surveillé par des agents ayant toutes les connaissances requises. Quoique, à l'ordinaire, la manipulation de chacune des quatre communications d'une installation quadruple ne donne que 25 mots par minute, on adapte souvent à la communication à relais polarisé un système automatique Wheatstone qui atteint un rendement de 150 mots par minute ou moins, suivant les difficultés de la ligne. La quantité de travail qui peut s'exécuter représente donc un chiffre très variable, et elle diffère tellement dans les circonstances diverses que les totaux obtenus ne seraient d'aucune utilité pratique, à moins d'un grand nombre d'explications détaillées. Pour cette raison, le rendement ou degré de vitesse de chaque communication exprimé en mots par minute est peut-être, dans la pratique, le guide le plus utile. Il est évident que du côté du relais polarisé, des manipulateurs très experts pourraient atteindre 40 mots par minute ou davantage, tandis que du côté non-polarisé où les signaux sont déformés, il ne serait pas judicieux de dépasser une vitesse de 25 mots environ par minute. On a trouvé que le système s'adaptait fort bien aux petits bureaux, son entretien n'exigeant pas d'habileté en mécanique et très peu de connaissances en électricité, à part les quelques règles générales nécessaires au réglage des différentes parties de l'appareil.

Comparé à d'autres systèmes Multiplex, son prix est fort peu élevé, une installation terminale complète ne coûtant que Ls. 35. Il est peut-être intéressant de mentionner qu'il y eut un temps où l'opinion était fort divisée sur les mérites relatifs et les avantages du système à courant (1) diminué (voyez le supplément) et de celui à courant (2) augmenté en usage du côté B (non-polarisé) du Quadruplex. Les deux systèmes furent, en conséquence, soumis à des épreuves pratiques qui se prolongèrent pendant un certain nombre d'années. Il n'y a plus de doute, à présent, que ce ne soit le système à courant augmenté (3) qui offre quelques légers avantages: aussi est-il maintenant généralement employé dans la Grande Bretagne.

Pendant plusieurs années on se servit d'un sounder faisant

---

(1) Decremental System.
(2) Incremental System.
(3) Incremental System.

office de relais dans le circuit local, entre le relais non-polarisé et le sounder récepteur, afin de remédier aux mutilations des signaux. Mais cette disposition entraînant le réglage exact de deux appareils, donnait souvent lieu à des difficultés. Il y a environ 6 ou 7 ans, on substitua un relais-sounder, des condensateurs et des bobines de résistance (voir le Supplément) et on réalisa, de la sorte, non seulement une économie dans les premiers frais d'installation, mais encore une simplification considérable dans les réglages, ce dernier avantage surtout rendant le système beaucoup plus stable. Ces changements ont également eu pour conséquence de réduire les frais annuels d'entretien.

Malheureusement, le système possède encore ses côtés faibles qui sont surtout attribuables à ce qu'on ne peut changer la direction d'un courant sur une ligne sans qu'il se produise un moment pendant lequel aucun courant ne circule sur cette ligne: ce qui revient à dire qu'en renversant le sens du courant, il faut que le manipulateur transmetteur, ou bien produise momentanément un court-circuit de la pile, ou bien l'isole. Cette interruption momentanée a pour effet de mutiler les signaux qui mettent en action le relais non-polarisé, nécessitant l'emploi de dispositifs spéciaux au côté récepteur pour remédier à la déformation. Celle-ci s'accentue à mesure que la longueur ou les difficultés de la ligne augmentent et l'application pratique du système se trouve, de ce fait, sérieusement affectée. Il existe cependant un grand nombre de fils d'une longueur modérée — atteignant jusqu'à 400 milles (640 kilomètres) pour une ligne de cuivre aérienne ou 120 milles (192 kilomètres) pour un conducteur de câble souterrain — auxquels ce système s'applique d'une façon très satisfaisante.

3. — **Système Mercadier**.

Dans le système Mercadier, qui représente fort bien la 2ème Classe, des courants alternatifs de fréquences différentes sont envoyés du côté transmetteur pour actionner des récepteurs au bureau correspondant qui ne répondent qu'à un courant d'une fréquence déterminée. La réception, si elle s'effectue à l'aide de l'alphabet Morse, s'obtient par la transmission de séries longues et courtes d'alternations de courant. Pour le travail au Hughes, elle s'obtient par la transmission de séries égales d'alter-

nations de courant à des intervalles variables. Les appareils récepteurs Morse ou Hughes sont en circuit local avec les récepteurs accordés.

Quoique ce système n'ait pas été adopté en Angleterre, on l'a soumis à deux ou trois investigations expérimentales. Les résultats obtenus ont certainement demontré qu'en se plaçant au point de vue des inventeurs, le système était praticable; mais on lui reproche de produire dans les circuits téléphoniques avoisinants, des perturbations sérieuses qui, au dire de certains abonnés du téléphone, ressemblaient au chant de plusieurs oiseaux.

La fréquence employée est de 480 à 900 alternations par seconde. Il est évident que ceci exige un fil possédant une grande capacité de transmission, égale à un rendement au Wheatstone d'environ 2.000 mots par minute.

A cause du mélange étroit des réseaux télégraphiques et téléphoniques en Angleterre, on ne pourrait s'y servir de ce système d'une manière générale, bien que dans certains cas où l'état de la ligne serait favorable, il soit capable de rendre de bons services.

4. — Le Phonopore.

Sur une plus petite échelle, le Phonopore ressemble quelque peu au système décrit en dernier lieu. Il fournit une communication pour la transmission ordinaire des signaux Morse, et une seconde pour la transmission des signaux Morse par l'entremise de courants alternant rapidement et divisés en groupes d'impulsions courtes et longues.

Le Phonopore a été adopté, dans une certaine mesure, par des Compagnies de Chemins de Fer en Angleterre.

Ce système possède également le désavantage d'entraver le travail sur les lignes téléphoniques avoisinantes, quoique les effets perturbateurs ne soient pas aussi prononcés que dans le système Mercadier. Cependant, les perturbations sont de nature assez sérieuse pour que l'Administration Britannique des Télégraphes n'ait pas cru devoir adopter ce système, en raison de la difficulté d'établir des voies distinctes pour les réseaux téléphoniques et télégraphiques.

5. — Système Picard.

Le système Picard est employé en France pour le travail ordinaire de l'appareil Hughes par l'une des communications et pour l'utilisation de la seconde communication au Hughes au moyen de courants à alternances rapides. Ce système dérange les circuits téléphoniques avoisinants à peu près de la même façon que le Phonopore, mais les effets sont moins prononcés, attendu que l'appareil Hughes n'exige qu'un signal par lettre tandis que le Morse en exige quatre en moyenne.

Mais le Hughes n'est pas utilisé sur les lignes de peu de longueur en Angleterre; son emploi est limité à quelques longs câbles souterrains sur lesquels on le travaille en Duplex et à des lignes internationales qui ne conviendraient pas à l'exploitation de la seconde communication. Ces raisons sont suffisantes pour ne pas établir ce système en Angleterre.

6. — Système Delaney.

La troisième Classe contient surtout le système Delaney dans lequel on emploie un Morse ordinaire sur chacune des communications disponibles, chaque transmetteur fournissant un travail continu à raison d'environ 25 mots par minute. Un distributeur, à chaque extrémité, relie automatiquement la ligne aux appareils récepteurs et transmetteurs correspondants pendant des intervalles courts, mais fréquents. Il en résulte, naturellement, que les signaux sont déformés avant d'arriver à la ligne, et il est nécessaire de recourir à des dispositifs spéciaux pour corriger la déformation au poste d'arrivée. Cette déformation augmente avec la longueur de la ligne et exige un réglage des plus délicats de la vitesse du distributeur et de l'appareil récepteur. Le système fonctionne bien pendant un certain nombre d'années sur plusieurs lignes en Angleterre, mais on dut l'abandonner définitivement à cause de l'imperfection plus ou moins grande des signaux, une imperfection qui s'accentua à mesure qu'il devint nécessaire d'allonger les sections souterraines des lignes qui menaient aux centres importants de communications.

Les tiges vibrantes (*Reeds*) qui gouvernaient l'appareil donnaient lieu à des difficultés considérables et devaient être soigneusement calées sur des anneaux de caoutchouc afin d'éviter toute vibration étrangère, la moindre variation de vitesse des distributeurs occasionnant immédiatement un dérangement.

Pour un rendement de 75 à 150 mots par minute, il fallait une ligne d'une capacité de rendement effectif d'environ 600 mots par minute. Sur des lignes de petite longueur possédant une ample marge de vitesse, le système était extrêmement utile ; les communications qui, en de certains cas, s'élevaient jusqu'à six, pouvaient être utilisées à un moment quelconque dans l'une ou l'autre direction, suivant les besoins du service, en tournant simplement un commutateur à chaque extrémité de la communication en jeu.

L'appareil avait été construit de façon à pouvoir faire face aux exigences les plus rigoureuses du service, et, en pratique, il était possible d'utiliser toutes les communications, à n'importe quel moment, dans un même sens, ou un nombre quelconque dans un sens et le reste dans le sens opposé.

7. — Système Pollock-Delaney.

Afin d'améliorer le fonctionnement général du système Delaney, Mr. S. A. Pollock, du Département des Ingénieurs du Post Office Anglais, s'appliqua à perfectionner un arrangement Duplex d'une installation quadruplex et réussit à porter le nombre de communications à huit, rendant ainsi possible l'emploi de plus longs segments. Il en résulta que, de 600 mots par minute, la capacité de rendement de ligne requise fut réduite à 220 mots pour un rendement de 100 à 120 mots par minute dans chaque direction. L'installation marcha admirablement, et 400 à 480 télégrammes par heure furent échangés sur une seule ligne aérienne longue de 180 milles (286 kilomètres).

Cet appareil fut définitivement abandonné à cause de la difficulté à maintenir une balance suffisamment exacte (pour la vitesse de rendement requise), sur les lignes aériennes constamment affectées par le climat variable de l'Angleterre, et aussi parce que les autres lignes fonctionnant entre les deux villes que desservait cet appareil, étant composées de longues sections de fil recouvert de gutta-percha, ne pouvaient s'adapter à la

grande vitesse de rendement nécessaire au Duplex. En conséquence, une interruption de la ligne exploitée entraînait une grande réduction dans le nombre de communications entre les deux centres et, par ce fait, désorganisait considérablement le trafic.

8. — Système Meyer.

J'aborde maintenant la 4e Classe dans laquelle la ligne est reliée successivement aux différentes communications à des intervalles réguliers, ce qui permet aux signaux d'arriver à la ligne sans déformation et, par conséquent, d'être reçus à l'autre extrémité du fil dans les meilleures conditions possibles et sous la forme la plus parfaite.

Cette méthode reçut sa première application dans le Meyer Multiplex. Un dispositif de 8 claviers transmetteurs était utilisé pour former une lettre de l'alphabet Morse conjointement avec un distributeur qui transmettait les signaux à la ligne à chaque révolution. A la réception, chaque lettre Morse s'imprimait sur une bande en largeur et non en longueur, d'après l'usage général actuel. La transmission s'effectuait en formant une lettre par révolution du distributeur sur chacun des claviers transmetteurs. Le moment exact pour la formation de la lettre était signifié à l'emploie par un signal de cadence. Cet arrangement ne présentait aucun désavantage sérieux si ce n'est que les signaux étant reçus sur une bande devaient être transcrits, tandis que dans le système Delaney ils étaient transcrits directement sous la dictée du sounder.

L'invention du Baudôt, qui supprima le procédé trop lent de la transcription des signaux reçus sur la bande, déplaça bientôt ce système.

9. — Système Baudôt.

Le Baudôt est un autre système appartenant à la quatrième classe.

Grâce à la méthode qui consiste à envoyer successivement des signaux complétés par les différents claviers reliés aux appareils correspondants, la capacité de rendement requise pour la ligne n'est pas élevée, et l'emploi de signaux plus courts que ceux du Morse procure un avantage en plus.

La capacité de rendement requise pour un type quelconque de Baudôt est indiquée dans les tables ci-dessous calculées d'après la base admise de 30 segments par mot pour le Baudôt et d'impulsions de 48 unités par mot pour le Wheatstone.

Types de Baudôt avec rendement, etc.

TYPE	Rendement en mots par minute	Rendement équivalent au Morse	Rendement en télégrammes par heure de télégrammes ordinaires anglais de 20 mots environ	
Double	60	49	100 à 120	de 50 à 60 par clavier
Duplex Double	60 / 60 = 120	45 / 45 = 90	200 à 240	
Triple	90	67.5	150 à 180	
Duplex Triple .	90 / 90 = 180	64.7 / 64.7 = 129	300 à 360	

Types de Baudôt avec rendement, etc. (suite).

TYPE	Rendement en mots par minute	Rendement équivalent au Morse	Rendement en télégrammes par heure de télégrammes ordinaires anglais de 20 mots environ	
Quadruple	120	90	200 à 240	de 50 à 60 par clavier
Duplex Quadruple	120 / 120 = 240	82.5 / 82.5 = 175	400 à 480	
Sextuple	180	120	300 à 360	
Duplex Sextuple	180 / 180 = 360	120 / 120 = 240	600 à 720	

La différence entre la capacité du rendement de ligne requise pour un Baudôt Sextuple et un Delaney Sextuple est de plus accentuée, le Baudôt n'exigeant que le cinquième de la capacité du Delaney. De plus, le Baudôt s'imprime en caractères typographiques au poste récepteur, tandis que le Delaney ne donne que des signaux Morse plus ou moins corrects.

Le système Baudôt possède, en outre, cet avantage inestimable que, de même que le Morse Quadruplex, il nous met à même

d'obtenir, sur un même fil, des communications séparées pouvant travailler indépendamment les unes des autres avec des bureaux différents. Le Baudôt n'a été adopté que fort récemment en Angleterre aux lignes intérieures et il n'y a pas encore un nombre d'appareils suffisant pour exécuter un projet de quelque étendue qui permettrait l'emploi le plus avantageux du matériel. L'Administration Française ayant bien voulu mettre un nombre de détails à ma disposition, je suis en mesure de vous donner les dispositions de fils suivantes qui, je l'espère, vous donneront une idée de l'élasticité et de la valeur du système Baudôt.

La communication Londres-Paris-Zurich-Marseille se compose d'un fil allant de Londres à Paris, d'un autre de Paris à Zurich, et d'un autre encore de Paris à Marseille. Londres utilise deux secteurs avec Marseille et deux avec Zurich, pendant que Paris en utilise également deux avec Zurich. Cette communication fonctionne d'une manière fort satisfaisante et moins d'interruptions se sont produites entre Londres et Zurich depuis l'installation du système actuel que pendant la période où Londres et Zurich ne communiquaient qu'au moyen du Hughes Simplex.

Dans la communication Paris-Alger on se sert d'un fil de Paris à Marseille et de trois câbles sous-marins d'environ 800 kilomètres chacun entre Marseille et Alger. Quatre communications sont utilisées entre Paris et Alger — trois dans une direction, et une dans l'autre, suivant les besoins — pendant que Marseille en utilise deux avec Alger, une dans chaque direction.

Il est étonnant qu'une invention de tant d'avenir n'ait pas été appréciée plus tôt dans d'autres pays que celui de son inventeur. Quoiqu'elle existe déjà depuis une trentaine d'années, ce n'est que depuis peu qu'elle a commencé d'attirer sérieusement l'attention. En ce moment, pourtant, son usage s'étend rapidement en Europe et en Asie. L'Administration Russe a déjà mis en exploitation, ces cinq dernières années, environ 75 installations et l'Administration des Télégraphes des Indes Britanniques en a installé 30 pendant la même période.

L'Administration Britannique des Télégraphes est aux prises avec un problème qui présente certaines difficultés. Le tarif si peu élevé pour les télégrammes de presse a nécessité des conditions toutes spéciales pour le maniement de cette correspondance et, jusqu'à présent, on n'a pas encore trouvé moyen d'y adapter le Baudôt.

Le Wheatstone, qui fut utilisé en premier lieu, maintient sa

suprématie pour ce genre de travail, mais il est probable que l'emploi du Baudôt s'étende d'avantage en Angleterre à la transmission des correspondances télégraphiques ordinaires.

Douze installations complètes ont déjà été mises en service et des mesures ont été prises pour l'exploitation de 10 autres dans le cours de l'année prochaine.

En France, le Baudôt n'a reçu de développements qu'en tant que Système Simplex, ce système suffisant largement aux besoins télégraphiques de ce pays. Mr. A. C. Booth, qui fait partie de mon personnel, a fait une étude approfondie de ce système et a réussi à travailler le Baudôt en Duplex.

En octobre 1910, le bureau technique du Post Office Britannique fit installer un Baudôt Quadruple Duplex à 8 claviers (4 dans chaque direction) sur une ligne souterraine de Londres à Birmingham, ainsi qu'un Duplex Double entre Londres et Berlin en août 1910 sur une ligne comprenant un câble sous-marin long d'environ 500 kilomètres. Les résultats obtenus sur ces lignes ont donné tant de satisfaction que l'Administration allemande a cru bon d'installer un Duplex Double sur une ligne souterraine avec deux relais entre Berlin et Cologne.

L'Administration Britannique des Télégraphes se prépare à faire un autre pas en avant: elle se propose d'installer, sous peu, un Sextuple Duplex entre Londres et Birmingham. Si cette expérience réussit — et il n'y a aucune raison d'en douter — il sera prouvé que le Baudôt est le système télégraphique imprimeur le plus rapide qui ait été inventé jusqu'à ce jour pour le maniement de grandes quantités de correspondances.

Des expériences pratiques ont prouvé que l'appareil Imprimeur Photographique de Siemens est celui qui, de tous les systèmes imprimeurs essayés en Angleterre, peut donner le plus grand rendement. Mais comme cet appareil ne fait pas partie du Système Multiplex, sa description n'entre pas dans le cadre de cet article.

10. — **Le Murray Multiplex.**

J'arrive maintenant à ce qu'on pourrait appeler un rejeton du Baudôt, à savoir, le système imaginé par Mr. Donald Murray. Mr. Murray a adopté le code Baudôt, mais il a construit son mécanisme imprimeur d'après des principes totalement différents. Au lieu d'une impression sur bande par une roue des

types, il se sert d'une petite machine à écrire et les télégrammes sont imprimés automatiquement en pages. Des signaux spéciaux sont utilisés du côté transmetteur pour actionner le mécanisme qui contrôle les mouvements de va-et-vient des feuilles ainsi que la mise en position d'un nouveau feuillet.

Comparée au Baudôt, l'installation complète réalise un progrès distinct, attendu que chaque communication fournit un rendement à raison de 40 mots par minute et que le Baudôt n'en fournit que 30. On s'attend à une grande économie de travail par suite de l'adoption de l'impression en pages, le télégramme reçu ne devant être vérifié que lorsque les feuillets sont retirés de la machine à écrire. Il reste à voir si, sur des lignes aériennes sujettes à des interruptions momentanées, la méthode de réception en page sera réellement avantageuse ou le contraire. Les expériences à cet effet en cours d'exécution en Angleterre ne sont pas encore assez avancées pour qu'on puisse en tirer des conclusions. L'installation expérimentale est un Duplex Double à quatre transmissions travaillant à une vitesse totale de 160 mots par minute (80 dans chaque direction). On n'a pas encore pu établir des chiffres représentant la quantité de travail qui peut s'effectuer en dedans d'une heure, mais on croit qu'on obtiendra de très bons résultats aux essais, et Mr. Murray espère qu'il pourra convertir son système en Duplex, triple, quadruple ou même sextuple.

11. — Système Munier.

Dans le but d'augmenter le rendement de la ligne on a essayé, de temps en temps, d'adapter le Hughes au travail en multiplex. L'une des méthodes, à laquelle Munier a donné son nom, triple le rendement par l'emploi de 4 installations complètes d'appareils Hughes et d'une cinquième comme distributeur. Cet arrangement ne permet pas aux appareils de déployer leur vitesse maximum, attendu qu'on ne peut transmettre qu'un signal par révolution. La réduction est équivalente à près de 30% de la vitesse moyenne. Comme les lettres dans les mots ne se suivent pas dans le même ordre que celles de la roue des types, la vitesse moyenne n'est qu'un quart environ de celle de l'impression effective. La simplicité de transmission est en faveur du système; elle est, en théorie, quatre fois plus favorable que

le Morse. Il y a donc ici deux traits d'un caractère opposé qui font que le rendement du Hughes dans des conditions de travail ordinaires est à peu près égal à celui du Morse. Ce qui revient à dire que le Hughes travaillant à raison de 120 tours par minute, quoique avec une vitesse d'impression de 112 mots par minute, fournit un rendement de 28 mots par minute et exige une ligne d'une capacité de rendement de 28 mots par minute par le Wheatstone. Mais ce système possède un grand avantage sur le Wheatstone en ce qui concerne la transmission des chiffres. Cet avantage est d'environ 65 %. La délicatesse naturelle de l'appareil, jointe aux difficultés inhérentes à tout système multiplex, constitue une combinaison sur laquelle on ne pourrait toujours compter, et c'est là, sans aucun doute, la raison pour laquelle on s'est si peu occupé du Hughes comme base d'un système multiplex.

12. — Système Rowland.

Ce système, qui donne quatre communications dans chaque direction au moyen de la balance Duplex, fut essayé pendant une assez longue période aux États-Unis, mais, à l'heure actuelle, il n'est plus guère en usage. Son rendement peut atteindre 40 mots par minute par communication, soit un rendement de 160 mots par minute dans chaque direction. L'appareil est assez compliqué, la méthode de réception en page étant assurée et contrôlée entièrement par le côté transmetteur de chaque communication.

Le système souffre du désavantage d'exiger, comparativement, un grand nombre de signaux par lettre: 12.5 unités, en comparaison de 8 pour le Wheatstone et 6 pour le Baudôt.

La vitesse, passablement grande, de 160 mots par minute est équivalente à une vitesse au Wheatstone de 250 mots. Pour atteindre un pareil rendement au Duplex, il faut que la balance soit très exacte et, pourtant, très délicate: les perturbations produites sur les fils avoisinants sont assez considérables. Les parties électriques et mécaniques sont quelque peu nombreuses et exigent des soins exercés pour les maintenir en de bonnes conditions de travail.

L'économie de main-d'œuvre réalisée par l'emploi de l'impression en page est un avantage dans de certaines conditions:

mais, dans leur ensemble, les désavantages du système l'emportent sur les avantages, si on les compare à ceux des autres systèmes en exploitation. Les signaux vont directement à la ligne, ce qui a pour conséquence de produire des signaux défectueux à l'autre extrémité. Il est difficile de rectifier les exemplaires qui doivent être remis au public d'une manière assez satisfaisante pour ne pas ébranler la confiance de ce dernier. Pendant l'exploitation du système en Amérique, il était d'usage de rejeter les feuillets qui portaient des signaux mutilés; mais cet usage nécessitait la re-transmission complète des télégrammes défectueux et rendait le système coûteux et peu satisfaisant.

Conclusion.

En examinant la question de l'utilité des systèmes multiplex, il est nécessaire qu'on les compare aux systèmes automatiques à grand rendement, le problème de la transmission par télégraphe présentant plusieurs aspects dont voici les plus importants :

a) L'économie dans la longueur des conducteurs.

b) L'économie des frais de main d'œuvre.

c) L'économie des frais d'entretien.

d) Les facilités qu'offre le système, surtout par égard au maniement des télégrammes et la correction des erreurs.

Les systèmes multiplex non seulement se font concurrence entre eux, mais en tout qu'une classe, font la concurrence aux systèmes automatiques à grand rendement.

En ce qui concerne la Grande Bretagne, les télégrammes peuvent se diviser en deux classes bien distinctes: l'une comprend des télégrammes comparativement assez courts se rapportant à des affaires commerciales ou domestiques; l'autre se compose de télégrammes de presse qui, parfois, sont extrêmement longs. La première embrasse la plus grande partie du travail journalier et, étant composée de petites unités, elle exige un maniement très rapide. La seconde exige également de la promptitude, mais elle est en position de souffrir le retard des quelques minutes nécessaires à la préparation des bandes perforées, pourvu, toutefois, que les télégrammes soient remis au bureau du journal en temps pour leur publication. Mais il est à

remarquer que l'augmentation du nombre des éditions a considérablement diminué la latitude dont on jouissait à cet égard.

On comprendra aisément que la question du transit rapide des télégrammes et de leur remise à domicile a pris une place très importante dans la situation, ayant égard, surtout, à la petite distance qui sépare les grands centres et les grandes facilités qu'offrent, à présent, les chemins de fer reliant ces centres.

D'après un examen général de la situation, il me semble qu'il est préférable de traiter les petits télégrammes comme des unités complètes plutôt que de les assembler au bureau transmetteur pour être transmis comme une suite non-interrompue de signaux qui, à leur tour, doivent être séparés et examinés. S'il est nécessaire de faire des répétitions ou des vérifications, les unités en question souffrent des retards considérables à cause des renseignements à obtenir et des recherches à faire. Dans le système multiplex, on s'occupe d'un télégramme aussitôt qu'il est reçu et les rectifications, etc. sont demandées et données de suite, sans le moindre retard. Les systèmes multiplex ont, en outre, le grand mérite de nous permettre de faire usage, dans la plus grande mesure possible, du temps pendant lequel la ligne est mise à notre disposition pour la transmission, non seulement des longs, mais aussi des courts télégrammes. Le public ordinaire jouit donc là de l'avantage d'un service beaucoup plus rapide qu'il ne serait possible de lui donner par l'emploi de systèmes ordinaires à grand rendement qui exigent, comme opération préliminaire, la préparation d'une bande perforée.

L'opinion est toujours divisée sur les avantages comparatifs de la réception sur bande et de celle en page. Si on envisage le sujet au point de vue d'un service rapide et bon marché qui évite la perte de temps occasionnée par les moyens compliqués employés pour déguiser les erreurs ou les rectifications et pour améliorer les apparences dans la forme et non dans la substance de la dépêche, alors la réception sur bande est supérieure à celle en page.

Il paraît probable que les appareils télégraphiques imprimeurs à venir seront forcés de se développer dans la direction du principe Baudôt, à cause des grands avantages que procure l'économie réalisée dans l'utilisation des périodes de disponibilité de la ligne et au point de vue de la simplicité des détails mécaniques.

SUPPLÉMENT.

I.

La méthode " decrement „ (à courant diminué) du Morse Quadruplex

par C. C. VYLE.

Dans le Quadruplex à courant diminué, la languette du relais non-polarisé est maintenue normalement, par un ressort en spirale, contre le butoir de repos et, lorsque le courant est suffisamment diminué, la languette se porte sur le butoir opposé, nommé butoir de travail, afin d'actionner le Sounder.

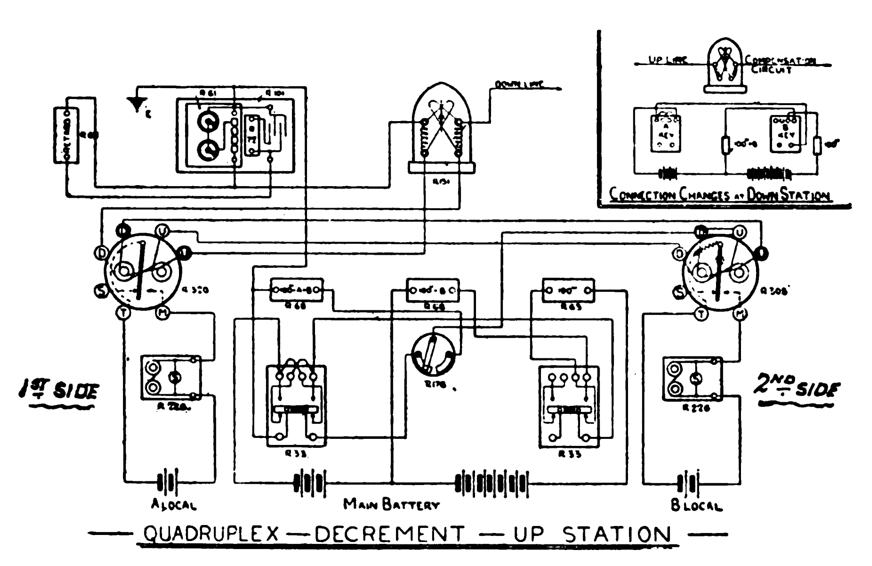


Fig. 6.

Le système à courant diminué n'évite pas la difficulté produite par l'inversion du courant de ligne, mais il convertit la tendance du système à courant augmenté (Incremental System) à diviser les signaux en une tendance à les prolonger à l'excès.

Le système à courant diminué prétend aux avantages suivants:

1° La simplification dans le réglage, puisqu'il est plus facile de corriger des signaux prolongés que d'éviter des signaux divisés.

2° Une légère réduction dans le nombre des pièces mécaniques.

Toutes les facilités qu'offre le système à courant augmenté, telles que extensions, disposition de relais, se rencontrent également dans le système à courant diminué.

Comme une description de cette dernière méthode ne paraît pas encore avoir été publiée, le plan des communications est représenté ci-dessous.

II.

Système Quadruplex à courant augmenté (Increment System). Circuit local du côté "B"

par C. E. HAY.

Il est de la plus grande nécessité d'obtenir les mesures de résistance et de capacité les plus convenables pour nous mettre à même de remédier à la déformation inévitable des signaux qui font actionner le relais B, et ces mesures pour le circuit local du côté B peuvent aisément s'obtenir par le calcul.

Le plan (fig. 7) ci-dessous représente les communications du circuit local. Le Sounder est relié en série avec une résistance variant entre 100 et 700 ohms et une pile de 40 volts, le Sounder et la résistance variable étant shuntés par un condensateur de 8 mf.

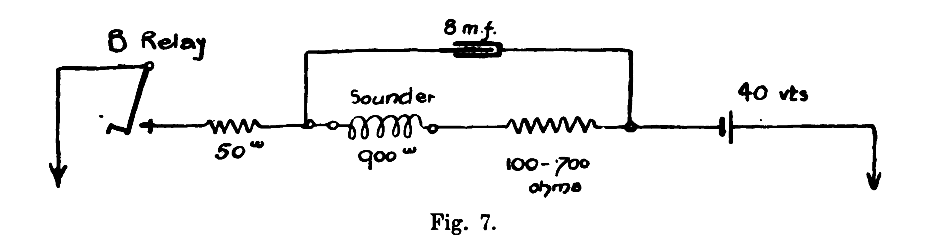


Fig. 7.

On introduit une résistance de 50 ohms afin d'empêcher que les contacts du relais ne se soudent pendant la charge du condensateur. Elle n'est pas nécessaire si la pile possède une résistance intérieure.

La fonction du condensateur, comme le montre le plan, est de fournir du courant au Sounder pendant le court intervalle où la languette du relais B est éloignée du butoir de travail alors que le manipulateur du côté A renverse la direction du courant de ligne, et la capacité du condensateur est d'une valeur telle qu'elle peut fournir un courant d'une force suffisante pour traverser le Sounder et pour maintenir l'action magnétique pendant le temps nécessaire.

Deux valeurs de courant sont à considérer, (*a*) celle résultant de la décharge du condensateur à travers le Sounder et la résistance placée en série avec ce dernier, et (*b*) le courant provenant de la Self-Induction du Sounder même passant par la résistance et la capacité. On les obtient comme suit:

De l'équation

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R\,di}{L\,dt} + \frac{1}{LK}\,i = \frac{1}{L} f(t)$$

alors que $f(t) = 0$, et que RK est plus grand que 4L, la solution suivante est bien connue:

$$i = e^{-R/2L.t}(A \sin \Phi + B \cos \Phi)$$

ou

$$i = A e^{-R/2L.t} \sin \left\{ \frac{(4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}}{2LK} t + \Phi \right\}$$

A et Φ étant des constantes arbitraires d'intégration dans lesquelles

A représente $(A^2 - B^2)^{\frac{1}{2}}$
et Φ représente $\tan^{-1} B/A$.

Au moment $t = 0$, les valeurs suivantes s'établissent:

$$i = 0,\ \Phi = 0 \text{ et } A = \frac{2Q}{(4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}}.$$

Par conséquent le courant du condensateur est

$$i_k = \frac{2Q}{(4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \frac{4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}}{2LK} t.$$

En substituant dans l'équation ci-dessus les valeurs suivantes qui ont trait aux appareils employés:

$$
\begin{aligned}
& Q = KV = 8 \times 10^{-6} \times 40 \text{ coulombs} \\
& L = 20 \text{ henries} \\
& K = 8 \times 10^{-6} \text{ farads} \\
& R = 1600 \text{ ohms,}
\end{aligned}
$$

on obtient le résultat:

$$i_k = 29 e^{-40t} \sin 68.1\, t \text{ milliampères.}$$

Le courant dû à l'inductance du Sounder peut s'obtenir de la manière suivante:

De l'équation semblable à la précédente, pour la quantité d'électricité

$$q = A_1 e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \left\{ \frac{(4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}}{2LK} + \Phi' \right\}.$$

On voit que $q = 0$, et $\Phi = 0$, au moment $t = 0$.

On arrive au courant résultant de l'inductance du Sounder par la différentiation de l'équation ci-dessus et par substitution, à savoir:

$$i_s = -1 \sqrt{4LK/(4LK - R^2K^2)}\, e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \left\{ \frac{(4LK - R^2K^2)^{\frac{1}{2}}}{2LK} t - \Phi \right\}$$

et lorsqu'on substitue les constantes de l'appareil déjà énoncées, on obtient

$$i_s = -29 e^{-40t} \sin (68.1t - 59.583^0) \text{ milliampères.}$$

La somme totale de courant dans le Sounder est de $i_k + i_s$ et ces valeurs calculées sont représentées dans la table ci-jointe, et graphiquement sur les courbes (fig. 8).



Quadruplex (Système à courant augmenté) (Increment System).

Courant traversant le sounder
quand le contact du relais *B* est interrompu.

Durée en secondes	Courant provenant de l'inductance du sounder $= i_e$ milliampères	Courant provenant du condensateur $= i_k$ milliampères	Totalité du courant traversant le sounder $= i_e + i_k$ milliampères
0	25	0	25
5×10^{-5}	24.92	0.101	25.021
10×10^{-5}	24.82	0.2018	25.0218
100×10^{-5}	23.02	1.896	24.916
200×10^{-5}	21.03	3.632	24.662
400×10^{-5}	17.16	6.645	23.805
600×10^{-5}	13.46	9.06	22.52
800×10^{-5}	10.00	10.9	20.9
1000×10^{-5}	6.835	12.22	19.055
2000×10^{-5}	— 4.139	12.75	8.611
3000×10^{-5}	— 7.335	7.75	0.415
4000×10^{-5}	— 5.808	2.362	— 3.446
5000×10^{-5}	— 2.746	— 1.038	— 3.784

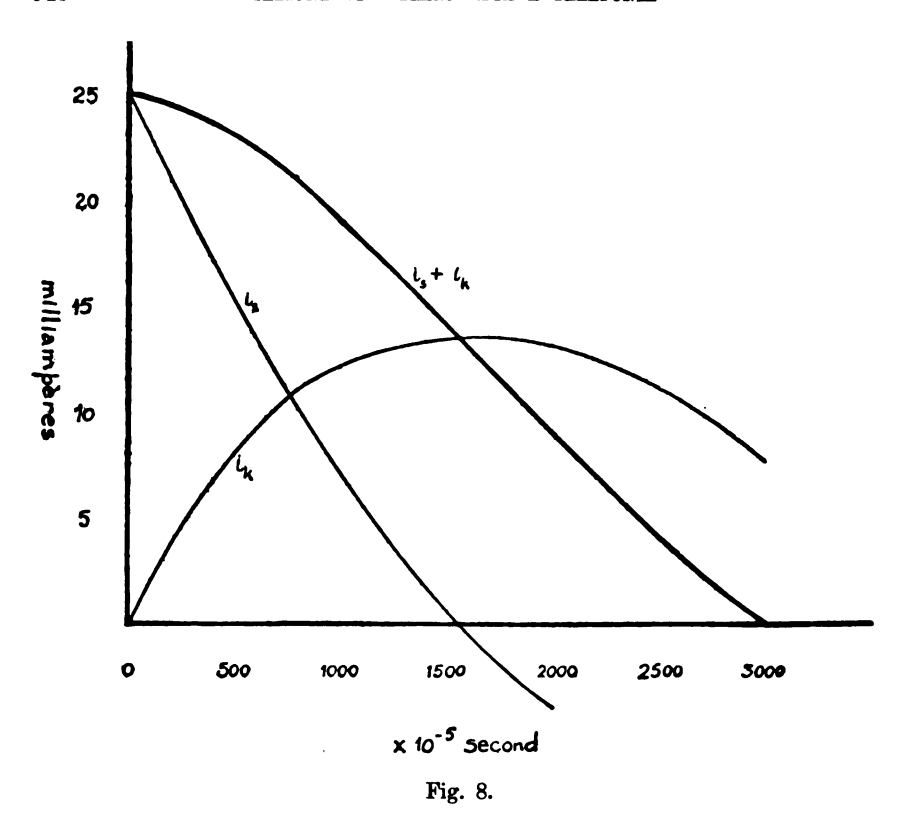


Fig. 8.

Bibliographie.

Cours d'Appareils Baudôt, par POULAINE & FAIVRE, Paris.

BAUDÔT, *Printing Telegraph System*. Proceedings of the Institute of Post Office Electrical Engineers, London, March 1907.

MURRAY-MULTIPLEX, *Practical Aspects of Printing Telegraphy*. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, London, February 1911.

Rowlands, Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers, April 1907.

MERCADIER, *Appareil Télégraphique Multiple*. Société des Télégraphes Multiplex, Paris.

DISCUSSION

M. G. Di Pirro (Rome) *remercie M. le Major O' Meara et présente quelques observations.*

M. K. Strecker (Berlin) *fait remarquer que les conditions relatives à la télégraphie multiple varient suivant les pays. En Allemagne on n'emploie pas le Morse quadruplex, mais on se sert seulement du duplex; en général, des appareils simplex, car le soundeur est appliqué dans les petits bureaux. Sur les lignes à grand trafic on se sert d'appareils à grande vitesse, surtout du Baudot et du Murray.*

On a aussi employé le nouvel appareil Siemens, sans l'enregistrement photographique, mais avec imprimeur, qui est un très bon appareil.

Avec le Baudôt et le Murray, l'Administration allemande a fait les meilleures expériences en duplex sur de longs câbles: on a pu transmettre à la vitesse de 90 mots dans chaque direction.

L'orateur fait remarquer que, pour comparer les différents systèmes, il faut tenir compte de ce qu'ils sont faits pour des lignes se trouvant dans des conditions différentes. Le Morse quadruplex est employé en Angleterre pour les petites lignes. Pour les petits bureaux, n'ayant pas un nombre suffisant d'employés, il faut recourir à des appareils plus simples.

Du reste, l'économie d'une installation dépend beaucoup de l'habileté des employés.

M. le Major O' Meara (Londres), Président, *fait remarquer que, pendant l'été, le trafic augmente sérieusement durant quelques semaines seulement dans quelques localités. Il serait donc très onéreux d'avoir des fils inactifs pendant la plus grande partie de l'année, car, en Angleterre, l'on doit souvent payer des sommes élevées pour entretien, etc., aux Compagnies de Chemins de fer, sur les poteaux desquelles sont posés les fils.*

M. P. Ossadtchy (St.-Pétersbourg) *demande quelques renseignements au sujet de l'application des appareils Murray en Angleterre.*

M. le Major O' Meara (Londres) *donne ces renseignements.*

M. P. Ossadtchy (St.-Pétersbourg) *explique que ces appareils sont en usage en Russie entre St.-Pétersbourg et Omsk (Sibérie) avec quatre translations intermédiaires depuis trois ans, et entre St.-Pétersbourg et Berlin avec une translation depuis deux ans.*

Ces appareils en Russie fonctionnent très bien. L'orateur estime que pour les lignes à grande longueur, de deux, trois ou quatre milles kilomètres, exigeant beaucoup de translations, les appareils multiples Murray sont les seuls qu'on puisse appliquer dans ces conditions.

M. le Major O' MEARA (Londres) *est d'accord, étant donné que le nouveau modèle du Murray est fondé sur le principe même du Baudôt.*

M. G. DURAN (Rome) *à propos de ce que M. le Président O' Meara a publié dans son rapport demande quelles sont les raisons pour lesquelles l'appareil Rowland a été abandonné aux États-Unis d'Amérique. En Italie, cet appareil est en service entre Rome et Naples: actuellement, on fait des essais entre Rome et Milan avec insertion d'un translateur à Florence.*

M. le Major O. MEARA (Londres) *répond que l'appareil a été abandonné en raison des frais excessifs comparativement à ceux des autres systèmes.*

M. K. STRECKER (Berlin) *dit que l'appareil Rowland a été appliqué entre Berlin et Hambourg, à une distance de 300 Km. Il fonctionnait plutôt bien, mais comme l'appareil n'était pas construit très soigneusement et était très cher, comme l'on avait d'autres appareils meilleurs, comme le Baudôt, on a mis l'appareil Rowland de côté.*

M. A. CARLETTI (Rome) *fait savoir qu'à Naples on a supprimé la réception à feuilles et qu'on y a substitué celle à bande, à cause des dérangements que la première méthode apportait. Il demande si l'appareil Murray dont a parlé M. le Président est du premier ou du second modèle.*

M. le Major O. MEARA (Londres) *répond qu'il s'agit du second modèle. On l'essayera aussi entre Londres et Manchester.*



LE PROBLÈME DU SECRET

dans les communications radiotélégraphiques.

Rapporto sul Tema N. 26 del Congresso.

Relatore Prof. P. O. PEDERSEN (Copenhague).

Une communication secrète par la télégraphie sans fil est celle qui permet d'envoyer des dépêches d'un poste transmetteur quelconque, A, à un ou à plusieurs postes récepteurs, B, C....., de façon à ce que ce soient uniquement les stations indiquées B, C..... qui reçoivent les dépêches dans une forme lisible, tandis que toute autre station reste sans réagir, ou que tout au plus elle reçoit les dépêches sous une forme indéchiffrable.

L'importance de tenir secrètes les dépêches expédiées par la télégraphie sans fil, varie suivant leur nature. Pour les signaux de détresse, et en particulier pour ceux qui sont lancés par les navires, il est de la plus grande importance qu'ils soient recueillis par autant de postes que possible. Il en est de même pour les communications officielles et d'intérêt public, telles que les communications météorologiques, chronométriques, etc.

Le secret n'est pas non plus de rigueur pour la plupart des dépêches échangées par les navires marchands entre eux, ou avec les stations côtières. C'est en vue de ces cas que les conventions internationales sur la radiotélégraphie ont décidé que tous les postes, établis à bord des navires marchands et sur les côtes, appelés stations de bord et stations côtières, sont tenus d'employer des longueurs d'onde déterminées (de 300 ou de 600 m.), et d'échanger réciproquement les radiotélégrammes sans distinction du système radiotélégraphique adopté par ces stations.

Il en est tout autre pour les dépêches émises par les stations radiotélégraphiques militaires et par les stations de télégraphie sans fil faisant partie du réseau général du service de la télégraphie ordinaire — stations dont l'importance, sans aucun doute, ira en augmentant; dans ces cas il convient d'assurer le secret des dépêches envoyées.

Ces dernières stations sont appelées dans la suite " stations à grande portée „. Cependant, une grande différence existe, par rapport au secret des dépêches, entre les stations militaires et celles à grande portée; il sera en général très utile pour les stations militaires d'assurer le secret de leurs dépêches; mais leurs efforts à cet effet seront continuellement contrariés de la part des ennemis qui s'efforceront de leur côté de troubler toute communication radiotélégraphique. Il va de soi que les stations à grande portée auront toujours, elles aussi, grand avantage à garder secrètes leurs dépêches; mais d'autre part elles ne sont pas exposées, ou ne doivent pas l'être au moins, à subir des perturbations intentionnelles. Il faut tenir compte de ces circonstances pour pouvoir apprécier à leur juste valeur les différentes méthodes appliquées pour assurer le secret des dépêches et leur utilité.

Pour établir une radiocommunication plus ou moins secrète, on a appliqué plusieurs méthodes et on en a proposé l'application d'autres. Nous donnerons dans la suite une explication sommaire des suivantes:

I. Méthode de la résonance.

a) Résonance électrique.

b) Résonance mécanique.

II. Application de la télégraphie par ondes dirigées.

III. Emploi de séries déterminées de trains d'ondes (Système Bull).

IV. Emploi des chiffres ou de la cryptographie.

V. Application d'appareils mécaniques, intercalés dans le transmetteur où ils transcrivent automatiquement le télégramme en caractères secrets, et dans les récepteurs où ils remettent la dépêche reçue en caractères ordinaires (Système Hovland).

VI. Emploi de la télégraphie à grande vitesse.

I *a*) Cette méthode repose comme on le sait sur le fait que dans des circuits faiblement amortis il ne se produira d'oscillations fortes que sous l'action des ondes d'une fréquence égale ou à peu près égale à une fréquence déterminée pour laquelle le circuit est dit être en résonance. Supposons comme mesure de la *sélectivité* ainsi obtenue la proportion $\frac{\omega_0}{\omega_2-\omega_1}$, où $\frac{\omega_0}{2\pi}$ désigne la fréquence pour laquelle le circuit est en résonance, tandis que $\frac{\omega_1}{2\pi}$ est la fréquence plus basse, pour laquelle la puissance obtenue est la moitié de la puissance maximum, et que $\frac{\omega_2}{2\pi}$ est la fréquence correspondante plus haute. Soit S la sélectivité, nous aurons donc

$$S = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}.$$

La sélectivité d'un seul circuit à décrément logarithmique δ sera

$$S = \frac{\pi}{\delta}.$$

En général il sera pratique de donner à l'antenne un décrément assez grand; donc, en intercalant directement le détecteur sur l'antenne, on n'obtiendra qu'une sélectivité faible. Celle-ci peut être augmentée en plaçant le détecteur dans un circuit secondaire faiblement amorti et faiblement accouplé à l'antenne. La transformation amène une perte, vu que l'intercalation directe du détecteur dans l'antenne permettrait de lui donner une puissance un peu plus forte. Cependant, cette perte n'est pas nécessairement grande, et, d'autre part, on obtient par ce procédé une sélectivité qui est $\left(\frac{\delta_1}{\delta_2} - 1\right)$ fois plus grande, δ_1 représentant le décrément logarithmique de l'antenne (sans détecteur) et δ_2 le décrément du circuit secondaire (avec détecteur). [Voir à l'appendice le développement ultérieur de cette question]. On pourra facilement donner à la quantité $\left(\frac{\delta_1}{\delta_2} - 1\right)$ des valeurs assez grandes; il en résulte que l'on emploie presque toujours la transformation au récepteur.

Dans ce qui précède nous avons notamment pensé à la réception d'ondes entretenues. La sélectivité des ondes non entretenues sera toujours plus faible, et la différence se manifestera

d'autant plus grande que l'amortissement des ondes employées sera plus fort. Il en résulte qu'on est de plus en plus porté à se servir, ou d'ondes entretenues, ou d'ondes de moins en moins amorties.

D'ailleurs on peut appliquer ce système de deux manières différentes. Supposons que le récepteur soit syntonisé pour la fréquence $\frac{\omega_0}{2\pi}$; on pourra suivre les deux procédés suivants:

1° Envoyer des ondes $\left(\text{d'une fréquence } \frac{\omega_0}{2\pi}\right)$ seulement tant que durent les signaux télégraphiques.

2° Envoyer des ondes d'une fréquence $\frac{\omega_0}{2\pi}$ pendant la durée des signaux télégraphiques, et des ondes d'une fréquence un peu différente $\frac{\omega_1}{2\pi}$ pendant le reste du temps.

1° Dans le premier cas, qui est la méthode spécialement pratiquée dans les stations à étincelles, toute station étrangère possédant seulement la sensibilité nécessaire, pourra recueillir le télégramme, même si elle n'est pas syntonisée aux ondes employées; cependant, toutes choses égales d'ailleurs, la sensibilité de la station étrangère doit être d'autant plus grande que l'amortissement des ondes est plus faible. En utilisant des ondes entretenues, la station qui désire recueillir la dépêche, à moins cependant qu'elle ne soit située dans le voisinage immédiat du poste transmetteur, devra toujours être, à proprement parler, syntonisée aux ondes employées.

Par cette méthode on ne saura réellement assurer le secret des dépêches, toute station, munie de moyens de syntonisation même les plus élémentaires, et qui aurait la sensibilité nécessaire, pouvant rapidement, et sans difficulté aucune, s'accorder de façon à pouvoir recueillir la dépêche.

2° La seconde méthode est plus avantageuse, particulièrement quand on emploie des ondes entretenues; dans ce cas en effet, une différence très petite entre les deux fréquences est suffisante $\left(\text{par exemple de } \frac{1}{2}\ \%_0 \text{ environ}\right)$. La station réceptrice doit être très sélective, et il faut que la syntonisation y soit tout-à-fait précise, pour que les signaux puissent se produire. Supposons en outre que l'on varie la fréquence des ondes employées en conformité de règles convenues d'avance entre les stations communicantes, et l'interception des dépêches expédiées

ne serait possible que par des stations munies des meilleurs appareils et bien utilisés.

La méthode à résonance a l'avantage d'empêcher que la communication soit aisément troublée par l'émission d'ondes étrangères, celles-ci ne pouvant agir que si elles sont extrêmement puissantes, ou que leur fréquence soit la même que celles, qui sont employées pour la communication. Pour les ondes entretenues et pour le récepteur à ticker en particulier, il faudra, pour occasionner un trouble, produire des ondes entretenues ou au moins des ondes qui seraient très peu amorties et qui auraient une fréquence toute déterminée, à part toutefois le cas où la station interrompante serait située tout près de la station réceptrice.

En un mot on peut établir, que si la résonance électrique n'assure pas une communication absolument secrète, elle contribue cependant à rendre difficile l'interception des dépêches.

La méthode de la résonance électrique est presque toujours adjointe à celles que nous passerons en revue dans la suite. Elle n'exige pas l'emploi d'un détecteur spécial, mais admet l'application de détecteurs aux dispositions les plus variées.

I *b*) Une résonance mécanique se produit lorsqu'un ou plusieurs des organes qui font partie du récepteur, tels que les relais, membranes de téléphones et autres appareils de la même nature sont syntonisés à la fréquence d'étincelle, de manière à devenir particulièrement sensibles aux impulsions qui possèdent cette même fréquence. Cette méthode n'est pas très utile pour le secret des dépêches, excepté à un seul point de vue: le récepteur obtiendra par ce procédé une sensibilité plus grande, qui permettra d'employer moins d'énergie au transmetteur; d'où il résulte que l' intervention des stations étrangères sera rendue plus difficile.

II. En employant la télégraphie à ondes dirigées on restreint géométriquement l'étendue du domaine, dans lequel l'interception des dépêches est possible, et on contribue par ce fait même à les tenir secrètes. Cette méthode sera d'autant plus efficace que l'on saura mieux diriger l'émission dans des directions déterminées, et les beaux résultats qu'ont obtenus déjà Bellini-Tosi et d'autres, permettent de prévoir des perfectionnements continus dans cette voie. D'autre part on ne pourra pas, bien en-

tendu, empêcher par cette méthode les stations qui seraient situées sur la ligne directe entre les deux postes, de s'emparer des dépêches échangées entre ces derniers; ce procédé ne sera donc jamais complètement efficace.

Cette méthode peut, elle aussi, être combinée aux autres systèmes ici indiqués.

III. Cette méthode, inventée par l'ingénieur norvégien M. A. Bull (1), consiste en l'application de séries déterminées de trains d'ondes, une telle série étant nécessaire pour décharger le récepteur; chaque série se compose de plusieurs trains d'ondes, en général à intervalles de temps différents, tandis que les séries sont congruentes. Ce système ingénieux restera probablement sans grande importance pour la solution du problème dont nous nous occupons, entre autre par le fait que, chaque déchargement du récepteur exigeant une série entière de trains d'ondes, la rapidité télégraphique deviendra par cela même petite. De plus il faut remarquer qu'une station intéressée pourrait aisément constater la nature des séries appliquées, et, par conséquent, régler son récepteur de manière à pouvoir les recueillir.

Cette méthode exige l'emploi de détecteurs, tels que des cohéreurs ou d'autres analogues, qui peuvent décharger des relais.

IV. L'emploi des chiffres est toujours un moyen efficace pour empêcher la divulgation des dépêches, mais, ce procédé n'étant pas particulièrement propre à la télégraphie sans fil, nous ne nous en occuperons pas en détail ici. Cependant il convient de faire remarquer que l'emploi des chiffres exige la transmission exacte des dépêches, sans laquelle on ne pourrait les déchiffrer ne sachant en deviner les types omis ou déformés. Un nombre relativement petit d'impulsions étrangères par mot étant suffisant pour troubler la réception d'une dépêche à chiffres, la cryptographie n'est guère applicable que si l'on prend des mesures spéciales pour assurer la transmission exacte.

V. M. A. N. Hovland, capitaine de marine norvégien (2), a construit, pour l'usage de la télégraphie sans fil, un système à

(1) Voir en " E. T. Z. ", 1901, p. 109.

(2) Voir pour la description détaillée en " Zeitschr. f. Schwachstromtechnik ". T. V, 1911.



types, très ingénieux. Ce système consiste en ce que la dépêche au poste transmetteur est automatiquement transcrite en caractères secrets, tandis qu'elle est remise en langue ordinaire et imprimée au poste récepteur; ceci à condition toutefois, que les appareils cryptographiques des deux postes soient en concordance. Nous ne pouvons donner ici la description détaillée de cet appareil assez compliqué, et nous renvoyons le lecteur à l'article cité ci-dessous. L'avantage de ce procédé est qu'il permet d'épargner le temps et la peine que comportent l'enregistrement au poste récepteur de la dépêche, et le déchiffrement de celle-ci. Par contre, la vitesse de transmission est relativement petite et les appareils, qui demandent l'emploi de cohéreurs ou d'autres détecteurs pouvant décharger des relais, se laissent assez facilement troubler par des actions étrangères.

VI. La télégraphie à grande vitesse contribue au secret des dépêches par le fait qu'elle diminue le temps pendant lequel l'interception de la dépêche est possible (1). En général cette méthode est combinée à celle de la résonance électrique, dont nous venons de parler au nº I a_2. Si les stations communicantes accordent leurs appareils d'une manière convenue d'avance, il sera difficile pour une troisième station de s'emparer de la dépêche. Toutefois, dans le cas où le secret est d'une importance très grande, ou emploiera des chiffres, et, s'il se manifeste des tentatives pour troubler la correspondance de la part des ennemis, on répétera le même télégramme à plusieurs reprises; ces mesures prises, il sera presque toujours possible de reconstruire le télégramme sans fautes en collationnant les différents enregistrements.

---

(1) Par rapport aux vitesses de transmission auxquelles on peut parvenir dans la télégraphie sans fil, nous faisons remarquer que la vitesse en applicant le système Poulsen pour une distance de 270 km., l'énergie primaire étant de 2,3 kw., et la hauteur des mâts d'environ 65 m., s'élève jusqu'à 300 mots par minute, tandis qu'une autre expérience, faite elle aussi d'après le système Poulsen, a donné pour résultat une vitesse de 170 mots par minute, la distance étant dans ce cas de plus de 1500 km. (dont la moitié environ était par-dessus terre), l'énergie primaire de 32 kw., la hauteur du mât transmetteur d'environ 100 m., et celle du mât récepteur d'environ 65 m. La réception s'opère photographiquement au moyen d'un galvanomètre à fil très sensible.

Pour les détails ultérieurs nous renvoyons à " Jahrb. d. drahtl. Tel. " IV, p. 524, 1911.



Dans ce qui précède nous n'avons pensé qu'aux moyens techniques à employer pour la solution de notre problème. Un autre procédé très important consiste dans des prescriptions de la loi, qu'il faudra nécessairement amener un jour et qui sanctionneraient le secret des dépêches par la télégraphie sans fil en fixant des peines pour leur interception. Cependant, des prescriptions de cette nature n'auront d'effet réel qu'en temps de paix, et, même alors leur efficacité sera assez douteuse pour les cas où l'on peut recueillir les dépêches envoyées en employant des moyens tout élémentaires, tels qu'un simple fil pour antenne, un circuit primitif, un détecteur quelconque et un téléphone; en effet les dépenses d'installation seront dans ce cas trop minimes, et le risque d'être découvert sera trop petit pour pouvoir décourager les tentatives d'interception.

Il en est tout autre pour les cas où l'interception des dépêches ne peut être faite que par des stations qui sont munies d'appareils très complets et dont les employés ont une grande pratique. Dans ce cas les dépenses d'installation seront si considérables, et le danger de découverte si grand, que des infractions à la loi n'auront lieu que rarement. En effet, il est indubitable qu'il est plus facile, ou au moins aussi facile, d'établir des moyens cachés pour l'usurpation des dépêches sur une grande partie de nos lignes de télégraphie ordinaire des plus importants, qu'il est aisé d'en établir sur une communication radiotélégraphique, qui opère avec plus de 100 mots par minute, et dont les signaux ne demandent qu'une variation des longueurs d'ondes d'environ $\frac{1}{2}$ %.

En supposant l'existence des lois utiles susindiquées, et en nous basant sur ce qui précède, nous ferons connaître sommairement notre manière de voir dans la question qui nous occupe.

Pour assurer une communication secrète par la télégraphie sans fil il faudra recourir aux procédés suivants:

1° L'application des chiffres.

2° L'application du système Hovland pour les petites distances et pour un emploi restreint.

3° Dans le cas où il y aura à craindre des troubles graves, et quand les stations sont à une grande distance l'une de l'autre et quand elles sont d'un usage fréquent, il faut employer la télégraphie à grande vitesse, avec ou sans la cryptographie.

Appendice.

Sous l'action d'une force électromotrice $E = E_0 \cos \omega t$, un circuit dont les constantes sont désignées par R_1, L_1 et C_1 aura, comme on le sait, la plus grande énergie pour

$$\omega^2 L_1 C_1 = 1 , \tag{1}$$

et la puissance maximum sera

$$W_{1\,max} = \frac{E_0^2}{2\,R_1} . \tag{2}$$

En intercalant dans le circuit ainsi accordé un récepteur ou un détecteur à résistance R_0, ce dernier obtiendra la puissance W_{1e} déterminée par

$$W_{1e} = \frac{E_0^2\,R_0}{2\,(R_1 + R_0)^2} . \tag{3}$$

D'où il résulte que W_{1e} aura sa valeur maximum pour $R_0 = R_1$. On aura donc

$$W_{1e\,max} = \frac{E_0^2}{8\,R_1} . \tag{4}$$

Cette équation représente la puissance la plus grande que l'on puisse donner au détecteur quand celui-ci est intercalé directement sur l'antenne.

En accouplant au circuit primaire un circuit secondaire aux constantes R_2, L_2 et C_2 par le coefficient d'induction mutuel L_{12}, on parviendra à donner au circuit secondaire au plus (1) une puissance $W_{2\,max}$ déterminée par

$$W_{2\,max} = \frac{E_0^2}{8\,R_1} ; \tag{5}$$

donc

$$W_{2\,max} = W_{1e\,max} .$$

(1) P. O. Pedersen: " Jahrb. d. drahtl. Telegraphie ", III, p. 283, 1909.

Cependant ceci ne serait possible que si, le coefficient d'accouplement (1) étant désigné par y, on a

$$y \geqq 1 \tag{6}$$

ou

$$y = \frac{\omega L_{12}}{\sqrt{R_1 R_2}} .$$

La puissance maximum déterminée par (5) n'est obtenue que pour les réglages suivants des circuits

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{L_1 C_1} - \omega^2 &= \frac{\omega R_1}{2 L_1} . \sqrt{y^2 - 1} \\ \frac{1}{L_2 C_2} - \omega^2 &= \frac{\omega R_2}{2 L_2} . \sqrt{y^2 - 1} \end{aligned}\right\} \text{ ou } \left.\begin{aligned} \frac{1}{L_1 C_1} - \omega^2 &= - \frac{\omega R_1}{2 L_1} . \sqrt{y^2 - 1} \\ \frac{1}{L_2 C_2} - \omega^2 &= - \frac{\omega R_2}{2 L_2} . \sqrt{y^2 - 1} \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

La résistance R_2 du circuit secondaire comprend toute la résistance effective R_2' du circuit, même que la résistance R_2'' du détecteur. Ainsi, la puissance apportée au circuit secondaire n'est utile au détecteur qu'en partie seulement; donc il résulte de (5) qu'au point de vue de l'énergie, il y aura une perte par la transformation. Cependant on pourra donner à R_2' une valeur si petite en proportion de R_2'' que la perte n'aura pas beaucoup d'importance. Il est avantageux d'employer une transformation, parce qu'une telle permet d'obtenir une sélectivité bien plus grande, tout en apportant au détecteur à peu près la même puissance.

Si le détecteur à résistance $R_0 = R_1$ est intercalé directement dans le circuit primaire, la sélectivité S_1 sera déterminée par

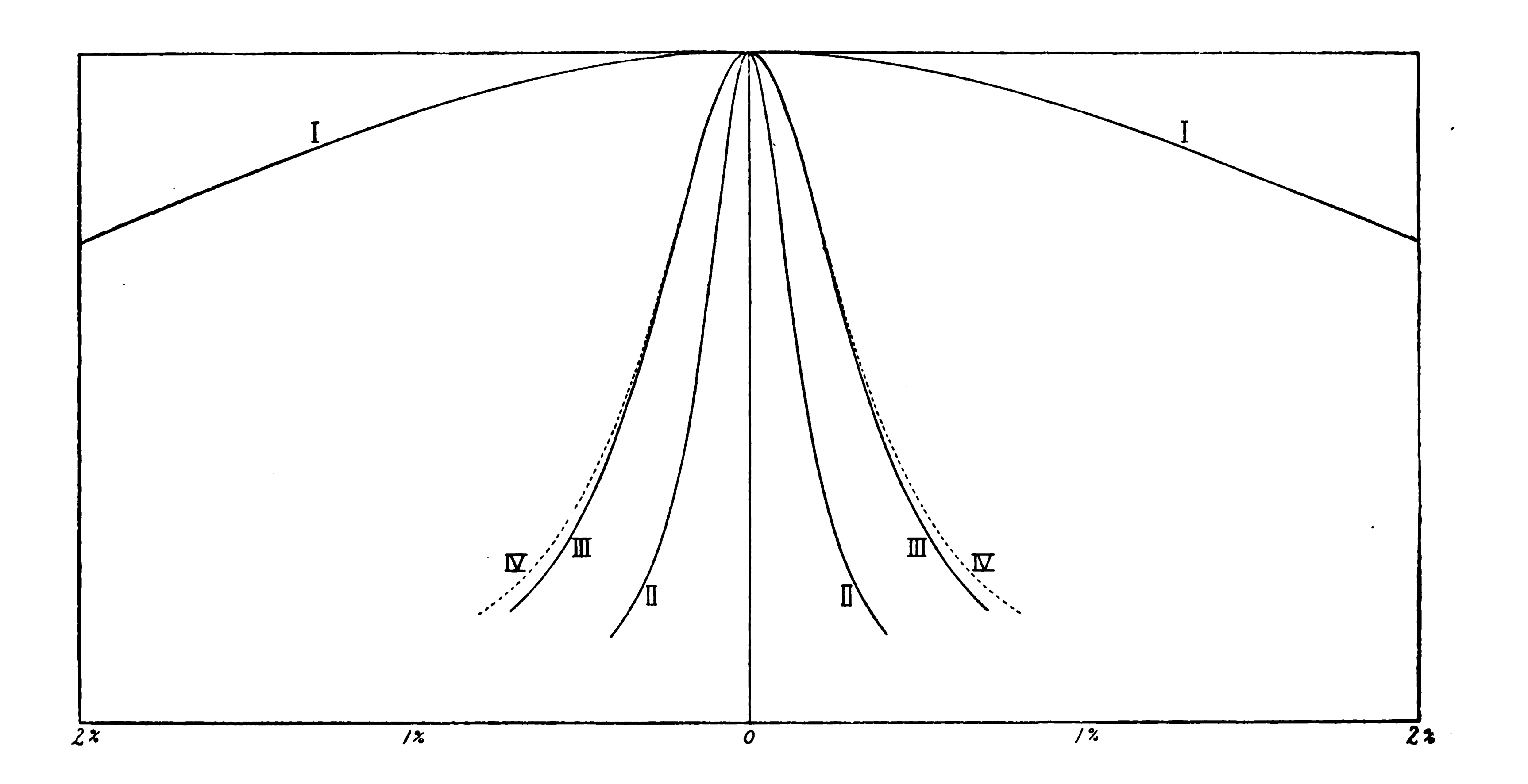
$$S_1 = \frac{1}{2 R_1} . \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \frac{\pi}{2 \delta_1} , \tag{8}$$

où

$$\delta_1 = \pi . R_1 \sqrt{\frac{C_1}{L_1}}$$

---

(1) P. O. PEDERSEN: " Jahrb. d. drahtl. Telegraphie ". IV, p. 451, 1911.


I
I
IV
III
II
II
III
IV
2%
1%
0
1%
2%

représente le décrément logarithmique du circuit primaire sans détecteur.

Parmi les réglages qui, par application de la transformation, donnent la puissance maximum au circuit secondaire, le réglage $y = 1$ aura la sélectivité la plus grande.

Pour $y = 1$ est

$$\omega L_{12} = \sqrt{R_1 R_2}$$

et

$$\frac{1}{L_1 C_1} = \frac{1}{L_2 C_2} = \omega^2 ,$$

et nous aurons [1]

$$S_2 = \frac{2\sqrt{2}\,.\,\pi}{2\delta_1 (1-\alpha)\sqrt{\sqrt{1+\frac{16\,\alpha^2}{(1-\alpha)^4}}-1}} \tag{9}$$

$\left(\text{où } \alpha = \frac{\delta_2}{\delta_1}\right)$, donc, pour les valeurs très petites de $\frac{\delta_2}{\delta_1}$,

$$S_2 = \frac{\pi\left(1-\frac{\delta_2}{\delta_1}\right)}{2\,\delta_2}, \tag{9'}$$

et nous aurons

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\delta_1}{\delta_2} - 1 . \tag{10}$$

Exemple. Soit le décrément logarithmique du circuit primaire (sans détecteur) $\delta_1 = 0{,}1$, et le décrément du circuit secondaire, sans détecteur, $\delta_{02} = 0{,}002$, tandis que le décrément du circuit secondaire avec le détecteur est $\delta_2 = 0{,}01$. Dans ce cas nous aurons une perte d'énergie par la transformation égale à 20 °/₀, tandis que la sélectivité sera 9 fois plus grande.

Dans la figure, la courbe I représente la courbe de résonance du circuit primaire avec détecteur, le cas par conséquent où le décrément est 0,2. La courbe II indique la courbe de résonance du circuit secondaire avec détecteur, donc pour le décrément

---

(1) " J. d. d. T. „ III, p. 292.

$\delta_2 = 0{,}01$. La courbe III indique la courbe de résonance pour le système accouplé pour $y = 1$, le décrément du circuit primaire étant $\delta_1 = 0{,}1$ et celui du circuit secondaire $\delta_2 = 0{,}01$. La courbe IV enfin indique la courbe de résonnance d'un seul circuit au décrément $\frac{0{,}02}{0{,}9} = 0{,}0222$, en conformité de la formule (10). La comparaison des courbes III et IV nous montre que la sélectivité obtenue par le système accouplé est réellement plus grande que celle qui est déterminée par la formule (10).

DISCUSSION

M. le Major O' Meara (Londres) *présente des observations d'ordre général, expliquant l'importance du secret, en télégraphie sans fil, non seulement en cas de guerre, mais aussi dans quelques cas spéciaux, comme, par exemple, pour le service de Banque, Bourse, etc.*

M. E. Bellini (Paris) *remercie M. le prof. Pedersen d'avoir bien voulu parler des essais de télégraphie sans fil dirigée, faits par M. Tosi et par lui même et fait remarquer que la dirigeabilité, plutôt que pour le secret des communications, est importante pour l'indépendance des postes et pour déterminer la direction d'un poste transmetteur.*

M. A. Artom (Turin) *donne des explications d'ordre personnel, et fait une déclaration de priorité de son invention.*

M. E. Bellini (Paris) *répond en faisant ses réserves au sujet des déclarations de M. le prof. Artom.*

A definition of the efficiency of a wireless telegraph system

J. Erskine-Murray D. Sc., F. R. S. E., M. I. E. E. (London).

The efficiency of any means of verbal communication may be studied under four aspects which I shall call the (1) Commercial Efficiency, (2) Telegraphic Efficiency, (3) Operative Efficiency, (4) Energy Efficiency. No.4 is the only one to which attention has hitherto been given.

(1) *The Commercial Efficiency* depends on economic considerations and on the Telegraphic Efficiency which latter includes the operative and energy efficiencies.

I define the commercial efficiency as the ratio (Money value of the speed with which a message can be transmitted from the sender to the addressee by the system considered) — to — (Cost per word transmitted). The numerator depends on the actual average speed of transmission from one correspondent to the other and on the business value of this speed. No exact figures are as yet available for this factor, but an approximate estimate is possible in certain cases. The denominator is the total cost per word including all proper charges and reckoned on the supposition that the stations are working continuously.

It is evident that both, numerator and denominator of the commercial efficiency, depends on the telegraphic efficiency as well as on questions of money values, for the latter includes speed, reliability, and energy efficiency. The technical efficiencies are thus factors of the commercial efficiency.

(2) *Telegraphic Efficiency.* — The operative efficiency includes speed of transmission of signals from station to station. Speed

is reckoned in words per minute: each word being of the length of five Vs in the morse code. It also includes Reliability, or uniformity of transmission which I define as (Time which should be spent in transmission of a day's traffic at a uniform normal rate without delays) — to — (Average time actually spent in transmission of same day's traffic).

Many questions arise under this head as, for instance, the technical construction of the instruments and the provision made to avoid interference by atmospheric electricity and by other wireless stations. It should be noted that the reliability of a system is independent of its energy efficiency. A wireless station may thus have a very low energy efficiency, and yet be very reliable and have good operative and commercial efficiencies. Several instances of the truth of this statement, as exemplified by well known wireless systems, will occur to anyone acquainted with commercial wireless telegraphy.

(3) *Energy Efficiency.* — I define the energy efficiency of a pair of wireless stations by the following ratio: (Power actually delivered at a final stage in the receiver) — to — (Power which would be delivered at the same stage if there were no dissipation of energy as heat on the way).

This definition eliminates loss of energy by divergence of radiation, and takes account only of true dissipation losses which occur in the instruments, or in the Earth, Air, or Sea between the stations. The definition thus resembles that of the efficiency of a heat engine. As is well known, the maximum possible efficiency of a heat engine depends on the temperatures of the boiler and condenser and on their average absolute temperature. The heat converted into mechanical work is thus only a fraction of the total heat passing through the engine, and the efficiency is therefore reckoned as the ratio of two fractions, viz: the actual power divided by the power which would be developed by a theoretically perfect engine working between the same temperatures. In the wireless case, the greater the difference between the densities of electrically radiated energy at points near the transmitter and receiver, the less is the theoretical highest possible power. Thus the efficiency as I define it is the ratio of the actual power delivered to the maximum power theoretically possible, when the ratio of the energy density in the medium near the receiver to that near the transmitter is given.

Taking the details of the energy efficiency, we have to consider (1) The losses of energy in the transmitting station, (2) losses in the media, Earth, Air, and Sea between the stations and (3) the losses in the Receiving station. We may separate (1) into (*a*) losses in the supply circuit (including the transformer if one is used); (*b*) losses in the primary circuit, in which the high frequency current is generated (including the high frequency alternator if one is used); (*c*) losses in the antenna-earth circuit. (*a*) and (*b*) may be determined approximately by known methods. No direct experimental method of determining (*c*) has as yet been published, but I hope to publish one in the course of a month or two as the result of experiments which I am now making.

The efficiency of the media (2) concerned in transmission between the stations I define in general as the ratio of the actual electrical energy density at a point near the receiving antenna to the Electrical energy density which would have existed at that point if there had been no loss by conversion into heat en route. This definition eliminates reduction of energy density by divergence of radiation, and is therefore applicable to wireless telegraphy and telephony since energy not lost irrecoverably by conversion into heat remains available to operate other receiving stations, as in the case of the transatlantic news services where many ships receive a message simultaneously from the same transmitting station.

The efficiency of the receiver (3) includes the losses in (*d*) the antenne-earth circuit; (*e*) the intermediate circuit (if there is one); (*f*) the detector circuit; (*g*) the telephone or relay circuit. These efficiencies have not yet been accurately determined except in a few cases for (*f*) and (*g*).

Conclusion. — The definitions which I have given constitute a concise analysis of the whole problem and, though many details are purposely omitted, they form a skeleton or framework which may serve as a guide to workers in this subject, and thus conduce to systematic measurements, the results of which will be of real value in the solution of actual engineering problems.

RÉSUMÉ

Le rendement d'une communication verbale quelconque peut être considéré sous des aspects divers; l'A. en examine trois qu'il désigne sous les noms de rendement commercial, rendement en action *et* rendement en énergie; *jusqu'à présent, le dernier seul a été l'objet d'études.*

L'A. définit le rendement commercial *comme le rapport entre le prix de revient en espèce, attribuable à la rapidité avec laquelle un télégramme peut être transmis, et le coût de la transmission de chaque mot. Les termes de ce rapport dépendent du rendement télégraphique et des données financières particulières à l'exploitation du système que l'on considère.*

Le rendement en action *est subordonné: 1° à la vitesse de transmission des signaux, vitesse que l'on peut exprimer en " nombre de mots par minute "; 2° au degré de confiance qu'il est légitime d'accorder au système de transmission eu égard à son uniformité. On peut le caractériser comme le rapport entre le temps nécessaire à la transmission journalière, calculé sur la vitesse normale, abstraction faite des retards éventuels, et le temps moyen employé dans les conditions de la pratique courante.*

Enfin, le rendement en énergie *est le rapport entre l'énergie effectivement dépensée sur l'appareil récepteur et celle qu'il suffirait de lui fournir en sus des pertes qui se manifestent sous forme de chaleur au cours du trajet et dans les appareils de transmission et de réception.*

L'A. énumère ces pertes et indique les moyens de les déterminer. S'inspirant de l'idée que l'énergie non transformée en chaleur, peut, sans doute, être utilisée par des stations réceptrices étrangères à celles du système, l'A. ne tient aucun compte, dans les calculs, des variations d'énergie dues à la divergence des ondes transmises. L'estimation des pertes d'énergie qui se manifestent dans le circuit des antennes n'est pas exempte de difficultés; mais l'A. promet d'indiquer ultérieurement une méthode pratique pour les évaluer.

Les définitions précédentes demanderaient des développements plus étendus; l'A. espère pourtant, en dépit de leur concision, qu'elles ne manqueront pas d'éclairer efficacement la voie pour ceux qui voudront étudier systématiquement les problèmes pratiques de la télégraphie sans fils.

LE COMPAS AZIMUTAL HERTZIEN

E. Bellini (Paris)
Docteur-ès-sciences - Ingénieur-Électricien.

Messieurs et chers Collègues,

Le nom un peu compliqué mis en tête de cette communication n'est peut-être pas très exact quand on l'analyse, mais présente l'avantage d'être dans le langage ordinaire et courant de la navigation.

Quoique le mot " Compas „ semble indiquer un appareil dont une partie tend toujours à assumer une direction fixe dans l'espace, comme, par exemple, le " Compas magnétique „, toutefois dans notre cas il n'y a rien de semblable.

A bord des bateaux existe un appareil optique qu'on appelle " Compas azimutal „ ou " Taximètre „, espèce de goniomètre ordinaire, à lunette ou à fentes et fils, qui sert à déterminer l'angle qu'un point de l'horizon forme avec l'axe du bateau.

Si à l'aide de cet appareil on relève en même temps deux ou plusieurs points connus de la côte, on peut déterminer la position du bateau, on peut *faire le point*, comme on dit en langage maritime.

On peut aussi atteindre le même but en observant un seul point de la côte, mais en faisant deux déterminations d'angles à un certain intervalle de temps, et en observant en même temps la route du bateau et la vitesse. On obtient ainsi tous les éléments pour faire le point.

Il est toujours utile pour la navigation de faire le point et, souvent, il est même indispensable. Mais c'est surtout en temps de brume que cette opération serait d'une utilité immense. Et

c'est justement dans ce cas que la méthode ordinaire vient à manquer. Le taximètre ordinaire étant optique, ne peut évidemment pas être employé en temps de brume. Tout le monde sait qu'en temps de brouillard la navigation est aujourd'hui réduite aux expédients.

Le " Compas azimutal hertzien „ dont j'ai l'honneur de vous parler est l'application aux bateaux du *radiogoniomètre de réception* Bellini-Tosi. Voici en deux mots le principe de cet appareil.

Supposons deux aériens dirigeables égaux et perpendiculaires $\left(\text{on pourrait en employer } n \text{ faisant entre eux l'angle } \frac{\pi}{n}\right)$. Comme aériens on emploie les aériens Brown-Blondel formés par deux parties égales, symétriques par rapport à la verticale, reliées entre elles à leur partie inférieure et complètement isolées de la terre. Cet aérien est parcouru par un courant à haute fréquence quand il est immergé dans un champ électromagnétique ; l'intensité de ce courant a la valeur

$$i = I_0 \cos \varphi$$

où φ représente l'angle que la direction du poste transmetteur forme avec le plan de l'aérien dirigeable. Cette formule est pratiquement exacte tant que la largeur de l'aérien ne dépasse pas $\frac{1}{6}$ de la longueur d'onde du champ électromagnétique, ce qui représente en général le cas qui nous intéresse. Dans le cas général cette intensité a la valeur

$$i = 2 I_1 \cos mt \sin \frac{\pi d \cos \varphi}{\lambda}$$

où d est la distance entre les deux antennes et λ est la longueur d'onde.

Supposons maintenant deux bobines égales et perpendiculaires, croisées comme deux méridiens de la terre, reliées respectivement à chacun de deux aériens, dirigeables qui sont eux aussi égaux, perpendiculaires et croisés. Un poste transmetteur engendrera par conséquent dans ces aériens, et dans les bobines insérées dans leurs points du milieu, des courants oscillatoires de la même fréquence et de la même phase (ou de phases op-

posées, ce qui revient au même), mais dont les intensités dépendent de la direction du poste transmetteur.

Dans le cas que la largeur de l'aérien ne dépasse pas $\frac{1}{6}$ de la longueur d'onde, il est facile de voir que le champ magnétique résultant au centre commun des deux bobines a une intensité indépendante de la direction du poste transmetteur et, au contraire, une direction dépendante de l'orientation du dit poste. En faisant coïncider les plans des aériens avec ceux des bobines respectives, la direction du champ magnétique résultant sera toujours perpendiculaire à celle du poste transmetteur. Si alors on explore le champ à l'intérieur de deux bobines fixes à l'aide d'une troisième bobine de petites dimensions, et convenablement reliée à un détecteur et à un téléphone, on trouvera évidemment que l'intensité de la réception sera maximum quand l'axe de cette petite bobine coïncidera avec la direction du champ magnétique résultant.

Quand la largeur de l'aérien dépasse $\frac{1}{6}$ de la longueur d'onde, il faut apporter aux indications de l'appareil une correction, facilement calculable dans tous les cas, et qui ne dépasse pas en pratique quelques degrés.

Voilà dans ses grandes lignes le principe de notre " Compas azimutal hertzien „.

Dans l'appareil effectif, au lieu d'une petite bobine mobile intérieure, qui donnerait une sensibilité très réduite, on emploie une grande bobine cylindrique, enroulée d'une façon spéciale, c'est-à-dire formant une nappe cylindrique dans le but que le coefficient d'induction mutuelle entre elle et chacune des bobines fixes varie d'après la loi sinusoïdale. Un commutateur à plots permet la variation contemporaine du nombre des spires des bobines fixes, dans le but de les accorder à la longueur d'onde à recevoir. Les spires de la bobine mobile sont invariables; l'accord du secondaire se fait en variant la capacité des condensateurs insérés dans le circuit secondaire. Le détecteur employé est un détecteur à cristaux. L'appareil est pourvu d'index et de cadran.

Il est connu que le brouillard n'empêche pas les communications sans fil. Par conséquent notre appareil peut rendre en temps de brouillard les mêmes services que rend le " Compas azimutal „ ou " Taximètre „ optique par beau temps. Pour cette

raison nous avons appelé notre appareil " Compas azimutal hertzien „ ou " Taximètre hertzien „.

Dans la Galerie des Expériences électriques de cette Exposition est exposé un modèle de notre " Compas „ qui permet de relever la direction d'un poste transmetteur monté sur un chariot et, par conséquent, déplaçable. Même à une si petite distance l'appareil fonctionne de manière satisfaisante.

Le " Compas „ peut être employé de deux façons différentes, qui peuvent dans quelques cas se compléter. On peut installer le " Compas „ dans un poste côtier, lequel peut alors déterminer la direction d'un poste de bateau. Sur la demande d'un bateau, le poste côtier peut faire le relèvement et le transmettre au bateau, lequel dans ce cas suffit que soit pourvu d'un système ordinaire de télégraphie sans fil. Cette méthode présente l'inconvénient que les relèvements ne sont pas pris par le Commandant ou par les officiers du bateau, qui sont les plus intéressés à obtenir une grande exactitude.

Mais la façon la plus pratique est celle d'employer le " Compas „ à bord, tout à fait comme l'appareil optique correspondant. Dans ce cas le Commandant ou les officiers du bord peuvent faire eux-mêmes leurs observations.

L'installation des aériens sur un bateau représente un problème différent pour chaque bateau. En tout cas ils se présentent toujours sous la forme d'une pyramide à base carrée, dont les arêtes aboutissent à babord et à tribord. Deux arêtes opposées forment un aérien dirigeable et sont reliées à une des bobines du " Compas „. Les arêtes sont constituées par plusieurs fils en parallèle, sous forme de harpe, de cylindre ou analogues.

La détermination de la direction d'un poste est très facile; la première fois que l'on s'y exerce on arrive immédiatement à obtenir une bonne exactitude. Mais il faut procéder de la manière suivante.

La réception d'un signal avec le " Compas „ et, en général, avec tous les systèmes de télégraphie sans fil par ondes dirigées, a lieu dans une certaine zone angulaire, dont les dimensions dépendent de plusieurs facteurs.

Le maximum de réception est flou et incertain. Si on voulait déterminer la direction d'un poste transmetteur en déterminant directement la direction d'intensité maximum, la détermination serait peu exacte.

Pour obtenir une grande exactitude il faut déterminer les dia-

mètres extrêmes séparant les zones de réception de celles d'obscurité. Pour cela il suffit de tourner lentement d'un côté et de l'autre le bouton du " Compas „ qui commande la bobine mobile, jusqu'à ne plus recevoir.

Le passage de la réception à la non réception est net; cela est probablement dû à une propriété du détecteur ou du téléphone, qui cesse brusquement de fonctionner dès que l'énergie tombe au-dessous d'une certaine valeur. Ce qui est certain est que la détermination de ces deux directions est facile et que la direction moyenne donne la direction du poste transmetteur avec grande exactitude.

Les premières expériences de notre " Compas „ qui se confondent avec celles de notre système de télégraphie sans fil, eurent lieu à Dieppe et au Hâvre où le Gouvernement français avait bien voulu nous permettre d'y installer des postes d'essai.

Je rappellerai l'essai fait avec le controtorpilleur " La Bombarde „ que le Ministre de la Marine français avait fait exprès naviguer tout le long des côtes anglaises de la Manche.

Le tableau n. I donne les résultats obtenus et les erreurs d'observation.

TABLEAU I.

Observation Numéros	Relèvements pris au compas	Relèvements déduits de la route du bateau	Différences
1	Nord 48° Ouest	Nord 43° Ouest	+ 5°
2	N. 39° O.	N. 36° O.	+ 3°
3	N. 33° O.	N. 27° O.	+ 6°
4	N. 24° O.	N. 19° O.	+ 5°
5	N. 9° O.	N. 3° O.	+ 6°
6	N. 9° O.	N. 4° O.	+ 5°
7	X. 9° O.	N. 4° O.	+ 5°
8	N. 13° O.	N. 6° O.	+ 7°
9	N. 34° O.	N. 27° O.	+ 7°
10	N. 46° O.	N. 42° O.	+ 4°
11	N. 60° O.	N. 59° O.	+ 1°

On remarquera que toutes les erreurs sont positives, ce qui fut ensuite trouvé être dû à un mauvais calage de l'index. Les résultats furent évidemment encourageants.

TABLEAU II.

Observation Numéros	Relèvements pris au compas	Relèvements déduits de la route du bateau	Différences
1	Nord 72° Ouest	Nord 74° Ouest	— 2°
2	N. 70°,5 O.	N. 72°,5 O.	— 2°
3	N. 69° O.	N. 68°,5 O.	+ 0°,5
4	N. 65°,5 O.	N. 66°,5 O.	— 1°
5	N. 63° O.	N. 64° O.	— 1°
6	N. 58° O.	N. 61° O.	— 3°
7	N. 55°,5 O.	N. 59° O.	— 4°,5
8	N. 51°,5 O.	N. 56° O.	— 3°,5
9	N. 50° O.	N. 53° O.	— 3°
10	N. 46°,5 O.	N. 49°,5 O.	— 3°
11	N. 45° O.	N. 48° O.	— 3°
12	N. 33°,5 O.	N. 37° O.	— 3°,5
13	N. 33°,5 O.	N. 34°,5 O.	— 1°
14	N. 31° O.	N. 32° O.	— 1°
15	N. 28° O.	N. 28°,5 O.	— 0°,5
16	N. 24° O.	N. 25° O.	— 1°
17	N. 21° O.	N. 19°,5 O.	+ 1°,5
18	N. 19° O.	N. 17° O.	+ 2°
19	N. 18° O.	N. 14° O.	+ 4°
20	N. 14°,5 O.	N. 11° O.	+ 3°,5
21	N. 6° O.	N. 5° O.	+ 1°
22	N. 8° O.	N. 7°,5 O.	+ 0°,5
23	N. 13°,5 O.	N. 11°,5 O.	+ 2°
24	N. 14°,5 O.	N. 12°,5 O.	+ 2°
25	N. 13° O.	N. 12° O.	+ 1°
26	N. 16° O.	N. 14° O.	+ 2°
27	N. 16° O.	N. 16° O.	0°
28	N. 19°,5 O.	N. 17°,5 O.	+ 2°
29	N. 21°,5 O.	N. 18°,5 O.	+ 3°
30	N. 21° O.	N. 21° O.	0°
31	N. 26°,5 O.	N. 22° O.	+ 4°,5
32	N. 28° O.	N. 23°,5 O.	+ 4°,5
33	N. 30° O.	N. 25°,5 O.	+ 4°,5
34	N. 32° O.	N. 28° O.	+ 4°
35	N. 33° O.	N. 31°,5 O.	+ 1°,5
36	N. 34° O.	N. 34°,5 O.	— 0°,5

Ensuite, le Ministère français des Postes et Télégraphes ayant installé à Boulogne-sur-mer un poste de télégraphie sans fil de notre système, le Ministère de la Marine français voulut encore procéder à d'autre essais, cette fois sur une plus grande échelle. Le cuirassé " Les Bouvines „ croisa dans la Manche et dans la mer du Nord. Le lieutenant de vaisseau Jeance et nous-mêmes relevions périodiquement le bateau. Le tableau n. II donne les résultats des essais effectués. L'erreur moyenne résulte de 2°. Cette erreur est la somme de celles faites par nous et de celles, inévitables, dues aux observations optiques faites par le bateau pour faire son point.

Tous ces essais, répétons-le, étaient faits dans des postes côtiers, qui relevaient la direction du bateau. Mais la Marine française voulut faire aussi l'essai inverse, c'est-à-dire d'installer le " Compas „ sur un bateau et relever du bateau un poste côtier. Ces essais eurent lieu en rade de Brest; le bateau employé était le cuirassé " Carnot „; les postes côtiers qu'on relevait étaient ceux de Brest-Kerlaër et du cuirassé " Bouvet „. Parmi les nombreux essais faits, nous reportons ceux du tableau III, qui eurent lieu avec le poste de Brest-Kerlaër. Dans ce cas aussi l'erreur moyenne résulte de 2°.

TABLEAU III.

Observation Numéros	Relèvements pris au compas	Relèvements pris au taximètre optique	Différences
1	103° Babord	103° Babord	0°
2	98°,5 B.	100° B.	— 1°,5
3	116° B.	113° B.	+ 3°
4	145° B.	140° B.	+ 5°
5	173° B.	178° B.	— 5°
6	145° Tribord	146° Tribord	— 1°
7	142° T.	142° T.	0°
8	145° T.	145° T.	0°
9	80° T.	84° T.	— 4°
10	117° T.	114° T.	+ 3°
11	80° T.	79° T.	+ 1°
12	75° T.	76° T.	— 1°
13	81° Babord	82° Babord	— 1°
14	54° B.	57° B.	— 3°
15	60°,5 B.	61° B.	— 0°,5

Nous avons déjà installé notre " Compas „ sur les deux grands transatlantiques " La Provence „ et l' " Espagne „ de la Compagnie Générale Transatlantique. Les appareils fonctionnent parfaitement, mais les Commandants de ces bateaux se plaignent de ne pas avoir assez de postes à relever.

Alors le Gouvernement français, soucieux à bon droit des intérêts du commerce et de la marine, a décidé de commencer à installer trois radiophares, c'est-à-dire trois postes spéciaux de télégraphie sans fil, destinés à fonctionner en temps de brouillard, deux à l'entrée du port de Brest et un sur un bateau-phare au large du port de Havre.

Les caractéristiques de ces radiophares furent fixées par M. Blondel avec sa compétence bien connue. Il est intéressant de les reporter, car elles montrent clairement qu'on a voulu atteindre les buts suivants:

1° Ne pas gêner les postes de télégraphie sans fil ordinaires.

2° Rendre le fonctionnement indépendant de la volonté d'un individu.

3° Rendre possible à tout le monde de lire le nom du radiophare.

4° Rendre la portée du " Compas „ la plus grande possible.

5° Rendre plus facile la reconnaissance d'un radiophare, en donnant à chaque radiophare une note acoustique caractéristique.

Phare de Creach d'Ouessant: un signal de brume comportant l'émission régulière toutes les trente secondes de signaux produisant dans le téléphone la note ut_4 (522 vibrations doubles par seconde) et rythmés de manière à répéter, pendant dix secondes au moins, à faible vitesse la lettre *O* de l'alphabet Morse. Longueur d'onde: 80 mètres.

Phare de l'île de Sein. Note sol_3 (783 vibrations doubles par seconde). — Lettre émise: *S.*

Bateau-feu: Le Havre. Note ut_4. — Lettre émise: *H.*

La portée du radiocompas à terre peut atteindre les portées ordinaires de la télégraphie sans fil. Mais à bord, la largeur des aériens étant limitée par la largeur du bateau, il s'ensuit que, en employant les longueurs d'onde habituelles de la télégraphie sans fil, on ne peut pas atteindre de grandes portées.

La théorie en effet démontre que l'intensité du courant qui

parcourt un aérien dirigeable, formé par deux antennes verticales, disposées à la distance d, est proportionnelle à

$$\sin \frac{\pi d \cos \varphi}{\lambda}$$

où φ est l'angle que la direction du poste transmetteur forme avec le plan vertical contenant les deux antennes, et λ est la longueur d'onde.

Le maximum est atteint pour $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2}$.

Si le rapport $\frac{d}{\lambda}$ est très petit, l'intensité de réception devient négligeable; la réception ne peut pas avoir lieu.

La pratique nous a confirmé les données de la théorie. En effet le radiocompas à bord ne peut pas recevoir les grandes longueurs d'onde de milliers de mètres, sauf à être à quelques mètres seulement du poste. La portée augmente au fur et à mesure que la longueur d'onde diminue. Elle atteint déjà une vingtaine de milles pour les longueurs d'onde de 600 mètres. La longueur d'onde de 300 mètres nous a permis de fixer la direction du poste jusqu'à 50 milles environs.

La longueur d'onde de 80 mètres, fixée par le Gouvernement français pour ses radiophares, présente donc l'avantage d'assurer une grande portée et de ne pas gêner les postes ordinaires de télégraphie sans fil, dont la longueur d'onde ne descend pas au-dessous de 300 mètres.

Il est évident que le " Compas azimutal hertzien " peut être employé pour éviter les collisions entre bateaux en temps de brume. Il suffit pour cela de réunir sur le même bateau le radiocompas et le radiophare, et de faire fonctionner alternativement l'un et l'autre. De cette manière un bateau peut en relever un autre et en être relevé. Par conséquent le Commandant peut prendre toutes les mesures pour éviter une catastrophe.

Avant de terminer ma communication, permettez-moi de faire remarquer quelles graves difficultés d'ordre matériel présentent les expériences avec le " Radiocompas ". Il faut avoir à sa disposition des bateaux qui se déplacent, des postes qui transmettent, des officiers qui veulent bien se prêter à exécuter des mesures souvent difficiles et ennuyeuses.

Je tiens donc beaucoup à exprimer toute ma gratitude au Gouvernement français, qui a bien voulu nous prêter son puissant concours pour exécuter ces essais longs et délicats.

Il n'est pas difficile de prévoir le futur. Dans quelques années les côtes seront semées de radiophares, lesquels en temps de brouillard émettront leur voix de hauteurs différentes et les bateaux plongés dans cette atmosphère harmonieuse navigueront avec la même facilité avec laquelle ils naviguent par temps clair. Les bateaux seront guidés par la musique.

LA TÉLÉPHONIE SANS FIL

Rapporto sul Tema N. 24 del Congresso.

Relatore Dr. VALDEMAR POULSEN (Copenhague).

Une téléphonie sans fil a été établie par de différents procédés.

Ainsi, en 1878 déjà, Graham Bell, tirant parti des qualités bien connues du sélénium, a établi une communication par la téléphonie sans fil sur de petites distances; ses expériences ont été reprises plus tard par d'autres qui ont tous obtenu des résultats satisfaisants pour des distances plus grandes. Cette méthode, toutefois, n'a jamais joué un rôle bien important; et, par le fait, entre autre, que la communication téléphonique ne pourra être maintenue que tant que la ligne de mire entre les deux stations reste sans obstacles, elle ne sera guère à l'avenir d'un usage plus fréquent; je ne m'attarderai donc pas à en faire la description en détail. Les systèmes qui sont basés sur l'application de courants induits entre de grands circuits, ainsi que ceux qui se servent de la terre comme d'un simple conducteur électrique, n'ont pas, eux non plus, acquis d'importance appréciable et ne possèdent pas les qualités exigibles pour un perfectionnement ultérieur; il n'y a donc pas lieu de les décrire à cette occasion.

Il nous reste à parler de la téléphonie sans fil qui est basée sur l'application d'ondes électromagnétiques; on fait de cette méthode un usage déjà assez considérable et elle possède par ses principes fondamentaux toutes les chances voulues pour obtenir une importance de plus en plus grande.

Le lendemain des expériences que Marconi avait faites en Italie et en Angleterre, et qui avaient inauguré une ère nouvelle dans la télégraphie, un grand nombre de physiciens et de techniciens dans le monde entier ont commencé à s'occuper activement d'expériences ayant pour but d'amener, dans une téléphonie sans fil, des résultats analogues à ceux qu'avait obtenus Marconi dans la télégraphie sans fil. Mais, tandis que les distances que Marconi pouvait franchir au moyen de la télégraphie allaient toujours en augmentant, et qu'il réussissait, des quelques kilomètres du début, à franchir des milliers de kilomètres, les essais d'établir une téléphonie sans fil sont restés, au point de vue pratique, longtemps infructueux. Parmi les difficultés qui se présentaient, il faut indiquer celles qu'opposait le détecteur. Le cohéreur employé tout d'abord dans la télégraphie sans fil était dans une téléphonie sans fil aussi inapplicable qu'il était utile pour l'enregistrement des signaux télégraphiques. Même après la constitution des cohéreurs autodécohérents, ainsi que du détecteur électrolytique et des différents détecteurs thermiques et à contact qui ont, par leur fonction continue, des avantages qui les rendent propres à une téléphonie sans fil, on n'a pas réussi à trouver un procédé qui fût utile dans l'usage.

Les oscillateurs d'ondes électromagnétiques qu'on connaissait alors opposaient les mêmes difficultés que celles qui se présentaient quand on voulut établir, en 1861, une téléphonie basée sur les appareils de Reiss.

Reiss produisait dans le transmetteur une série d'interruptions successives du courant, lesquelles, étant par leur fréquence en concordance avec l'onde sonore qui faisait fonctionner le transmetteur, par cette raison ne produisaient au récepteur que la fréquence de l'action, sans en reproduire, ni l'intensité, ni le timbre; il était donc impossible d'obtenir par ce procédé une transmission de la parole utilisable dans la pratique. D'une manière analogue, une téléphonie sans fil à étincelles électriques n'admet que l'emploi de trains successifs d'ondes non entretenues, qui sont toujours séparés par des intervalles de repos relativement considérables. Il en résulte que, même dans les cas où l'on pourrait établir une concordance entre la fréquence d'étincelles et la fréquence de l'action et où l'on pourrait en plus donner à chaque décharge une puissance correspondant à l'intensité de l'action, que, même s'il était possible de résoudre ces problèmes extrêmement difficiles, on obtiendrait tout au

plus une reproduction très imparfaite de la voix analogue à peu près à celle que donnerait le téléphone de Reiss.

La téléphonie ordinaire ne date que des inventions de Bell et de Hughes ; ceux-ci ont constitué des appareils qui permettent de produire des courants électriques, lesquels, par les variations qui s'y établissent, donnent une reproduction exacte des variations d'impressions, causées par l'action des ondes sonores. Le développement a été analogue pour la téléphonie sans fil : *une fois les moyens connus pour produire des ondes électromagnétiques entretenues, il ne restait qu'à appliquer les appareils de la téléphonie ordinaire en les combinant avec les détecteurs à contact employés dans la télégraphie sans fil, et l'on avait réussi à établir une transmission distincte et nette de la parole entre des postes non trop éloignés l'un de l'autre.*

Cependant, il est, peut-être, utile de donner des commentaires de quelques-uns des appareils et des organes qui font partie d'une telle station de téléphonie sans fil.

Pour produire les ondes entretenues employées dans la téléphonie sans fil, on s'est servi jusqu'à présent particulièrement de l'arc à hydrogène, disposé de différentes manières [1]. Les oscillateurs mécaniques à haute fréquence qu'on a construits jusqu'à présent sont assez coûteux ; ils n'ont trouvé qu'un emploi restreint dans la téléphonie sans fil, et il est peu probable qu'ils y obtiennent un usage plus fréquent dans l'avenir.

Le microphone ordinaire est destiné à fonctionner pour des intensités de courants très petites seulement, et il n'est donc pas, à proprement parler, de nature à être appliqué dans la téléphonie sans fils, où il est de la plus grande importance que le microphone puisse supporter des courants très puissants. En effet, les distances que l'on peut franchir aujourd'hui au moyen de la téléphonie sans fil, sont déterminées principalement par les quantités d'énergie que les microphones sont à même de porter. Tout perfectionnement sur ce point, apporté au microphone, aura pour résultat immédiat d'augmenter les distances. A l'appui de ce que nous venons de dire, nous ferons remarquer qu'on est parvenu, en applicant des ondes entretenues, à obtenir une vitesse télégraphique de 150 mots par minute, sur une distance

---

(1) V. Poulsen, *Transact. of the Int. Electr. Congr. St. Louis*, 2, 963, 1904-05; Id., E. T. Z., 27, 1040, 1906; 27, 1075, 1906.



de 1500 km. De la vitesse télégraphique indiquée il résulte que la durée d'un point sera de $\frac{1}{100}$ de sec. La réception dans la télégraphie à grande vitesse s'opère au moyen d'un galvanomètre à fil et les signaux sont enregistrés à l'aide de la microphotographie. Il est hors de doute que l'oreille, suppléée d'un téléphone, constitue un appareil d'une sensibilité qui est bien plus grande pour les modifications du courant correspondant à la voix que celle du dispositif d'enregistrement que nous venons de décrire. Ainsi, il est certain que si l'on avait des microphones qui sous l'action des paroles pouvaient varier les ondes émises par le transmetteur dans la même mesure que cela se produit dans la télégraphie à grande vitesse, où la variation consiste à donner aux longueurs d'ondes une variation d'environ $\frac{1}{2}$ %, on parviendrait à établir une téléphonie distincte sur les mêmes distances.

Pour augmenter la puissance des microphones on en a essayé plusieurs dispositions différentes. Ainsi on a essayé de les construire plus grands, tout en tendant davantage la membrane afin d'éviter une fréquence naturelle trop basse [1]; en augmentant la grandeur du microphone, on en augmente aussi la faculté de pouvoir supporter des courants de grande puissance. Par un refroidissement artificiel au moyen de courants de liquides ou d'air, on a encore essayé d'éloigner la chaleur produite. Ces propositions et tous ces essais n'ont pas toutefois conduit à un résultat définitif, et, selon moi, on obtient des résultats tout aussi satisfaisants en applicant une série de plusieurs microphones ordinaires. Il convient cependant de faire remarquer que les microphones à grains de charbon ne se prêtent guère à être disposés parallèlement, du fait que leur résistance décroît quand la température s'élève; d'où il résulte qu'une surcharge accidentelle de l'un des microphones en provoquera, grâce à la résistance amoindrie, la surcharge ultérieure, ce qui le rendra enfin impropre à tout fonctionnement. Ainsi il est possible que l'application de microphones à

---

[1] Voir, entre autre, la construction de Ejner et Holmstroem dans: BELA GATI, *Recherches sur les microphones et sur la téléphonie.* II° Conférence internationale des Techniciens: " La téléphonie à grande distance ", Paris.



grains métalliques jouera un rôle important dans la téléphonie sans fil. Il s'est montré utile de remplacer les anneaux de feutre, ainsi que les autres anneaux du même genre, employés dans les microphones ordinaires, par des anneaux d'un matériel non carbonisable, tel que la laine de verre. En utilisant plusieurs microphones, on doit veiller à ce que l'entonnoir commun soit construit de façon à donner la même phase à tous les microphones.

Cependant il est douteux que des progrès importants dans la construction des microphones puissent se réaliser tant que l'on ne s'engage pas dans des voies nouvelles; en effet Majorana a réussi à appliquer avantageusement un nouveau procéde dans son microphone à jet liquide.

Diagrammes de transmission. — On a appliqué et surtout proposé tant de dispositifs plus ou moins différents pour la transmission de la parole, que la description de chacun d'eux nous entraînerait trop loin; nous pouvons d'autant mieux omettre cette description, que la plupart des dispositions proposées ne sont guère d'une utilité bien grande dans la pratique, et que la différence entre les divers dispositifs existe, plutôt au point de vue des brevets qu'au point de vue technique.

L'effet du transmetteur consiste principalement en deux phénomènes: les variations de la résistance du microphone, produites sous l'influence des vibrations de la voix, amènent en premier lieu des variations dans la puissance radiée et modifient éventuellement en second lieu la longueur d'ondes au poste transmetteur. Le premier de ces effets se produit toujours, et, dans les cas où l'on aurait employé des oscillateurs mécaniques, il sera le seul; en applicant des arcs voltaïques à hydrogène on peut encore obtenir le second effet à un degré plus ou moins haut. Les recherches approfondies sur cette question restent encore à faire.

Dans l'usage on a généralement employé la disposition indiquée dans la figure 1, où le microphone est intercalé dans l'antenne, celle-ci étant accouplée inductivement au circuit primaire. Il va de soi que le microphone, comme l'indique d'ailleurs la figure, est placé entre la bobine de l'antenne et la terre. Il est d'une grande importance de choisir le degré le plus avantageux d'accouplement des circuits. En effet les expériences ont démontré que si l'accouplement en question est trop fort, les paroles transmises seront reproduites indistinctement et entremêlées à des

sons parasites. En relâchant l'accouplement par degrés jusqu'à un certain point, on augmente l'intensité du son, et, par cela même, la netteté des paroles transmises; si l'on continue à relâcher, l'intensité tendra à décroître, tandis que la reproduction

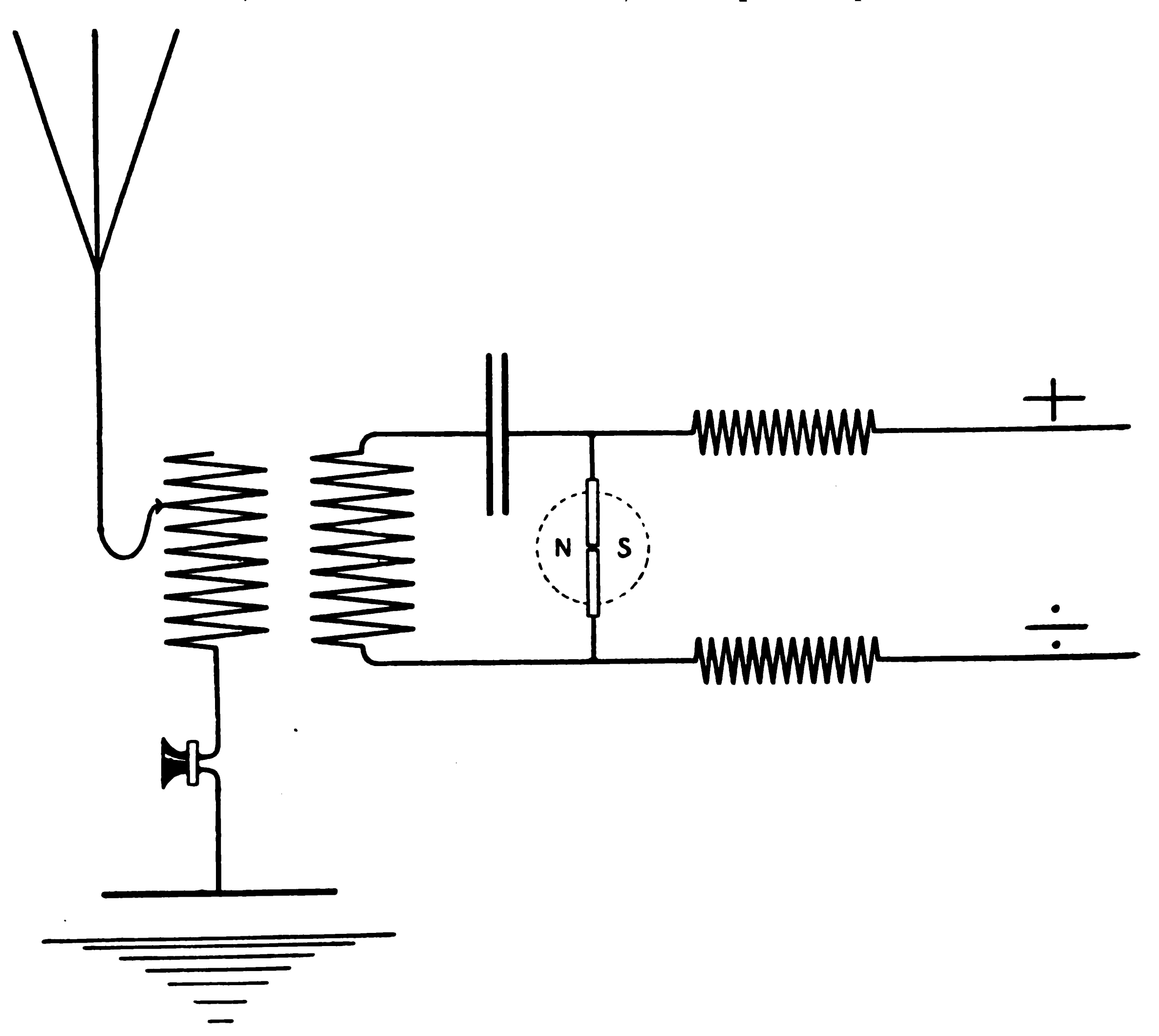


Fig. 1.

des paroles restera distincte. Le réglage correct est assez délicat. Le circuit intermédiaire appliqué par Colin et Jeance n'a rien qui engage à l'adopter; selon moi il ne sert en réalité qu'à varier l'accouplement du circuit primaire à l'antenne.

Par le diagramme indiqué dans la figure 1, l'action est due, comme je l'ai dit, en particulier aux variations dans l'intensité

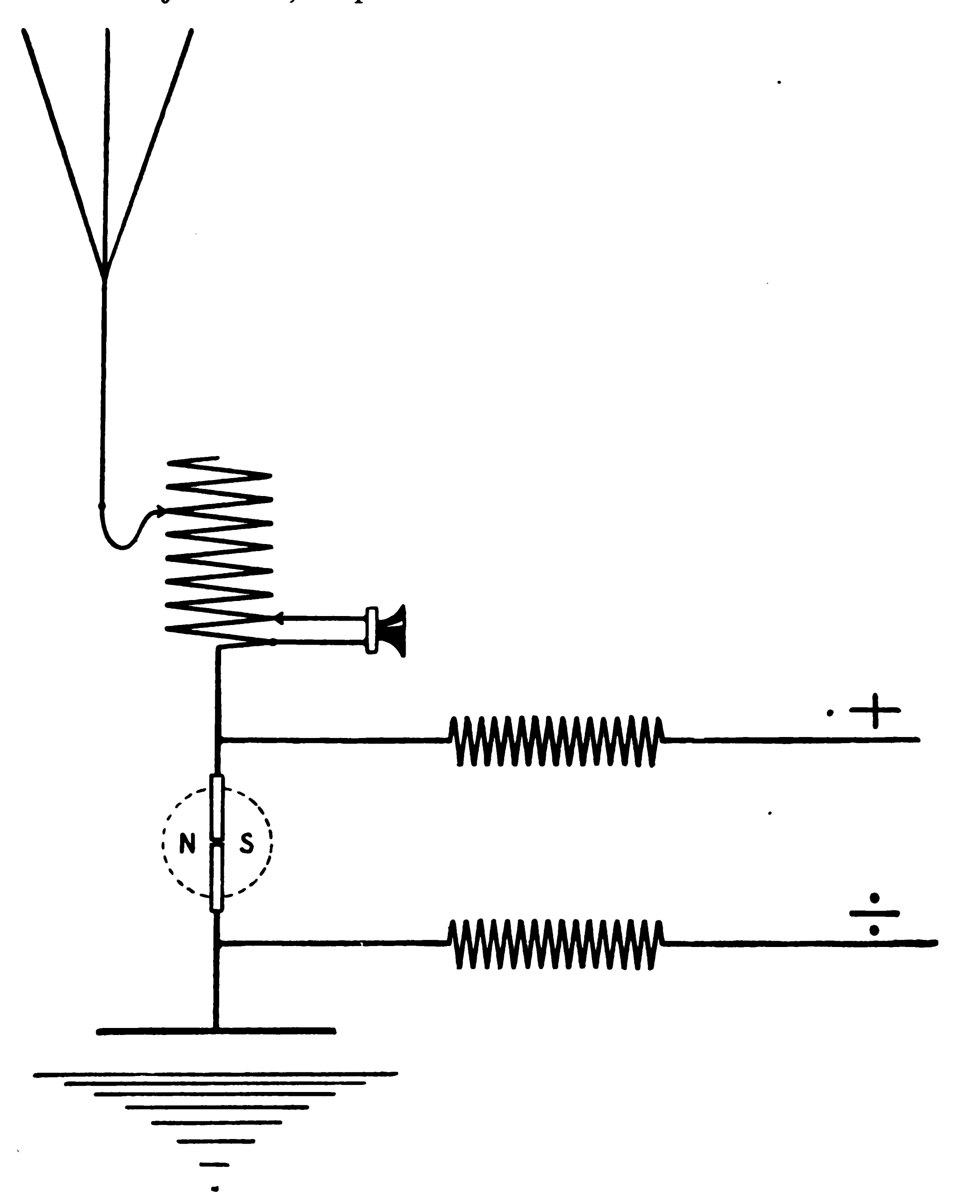


Fig. 2.

de la radiation. Quant au diagramme indiqué dans la figure 2, dont le principe d'ailleurs est analogue à celui qui est appliqué

dans la communication télégraphique à grande vitesse entre l'Irlande et le Danemark, on ne varie en principal que la longueur des ondes. Selon moi on n'est pas encore parvenu à des résultats satisfaisants par un tel dispositif; mais, comme je viens de le dire en parlant des différents microphones, la solution du problème de trouver la construction la plus favorable d'un microphone à courant puissant, amènera probablement une téléphonie sans fil sur des distances très considérables, par l'application de variations dans la longueur des ondes radiées.

Il n'est pas possible, tant que les microphones qui font une partie si importante du système transmetteur n'ont pas trouvé leur constitution définitive, d'indiquer un type spécial d'un diagramme transmetteur qui soit le plus utile dans la téléphonie sans fil.

Diagrammes de récepteurs. — Il en est de même des différents diagrammes de récepteurs qui sont appliqués dans la téléphonie sans fil, que des diagrammes de transmetteurs: le nombre des différentes variations en est si grand que nous ne pouvons les mentionner ici. D'ailleurs il n'y a pas lieu à le faire, d'autant moins que ce sont en définitive les mêmes dispositions que celles qui sont appliquées dans les cas de la télégraphie sans fil où l'on emploie la réception par l'oreille ou l'enregistrement photographique. Il semblerait peut-être que la fonction des détecteurs dans la télégraphie, où les signaux se produisent assez lentement, fût sensiblement différente à celle des détecteurs de la téléphonie sans fil, qui doivent reproduire des variations dont la durée n'est que de $\frac{1}{1000}$ de sec. et même moins. En effet, il est certain que les détecteurs thermiques sont relativement moins sensibles quand ils sont appliqués dans la téléphonie, qu'ils ne le sont dans la télégraphie; mais les détecteurs à contact, d'une sensibilité très grande, qui sont actuellement les plus employés, ne sont pas probablement basés sur des effets termiques, ou ils ne le sont au moins que secondairement; en tout cas ils ne montrent qu'une différence de phase très petite entre l'action et l'effet, ou n'en montrent pas du tout. Dans la figure 3 j'ai donné un diagramme généralement adopté d'une disposition du récepteur.

Dans la téléphonie sans fil c'est principalement l'intensité du son au poste récepteur qui détermine la distance la plus grande sur laquelle la communication peut être maintenue. En effet, le

timbre de la voix reste le même, n'importe à quelle distance, contrairement à ce qui se produit dans la téléphonie ordinaire par fil, où le timbre de la voix est souvent altéré par la transmission. Il est donc tout simple de se servir de relais télépho-

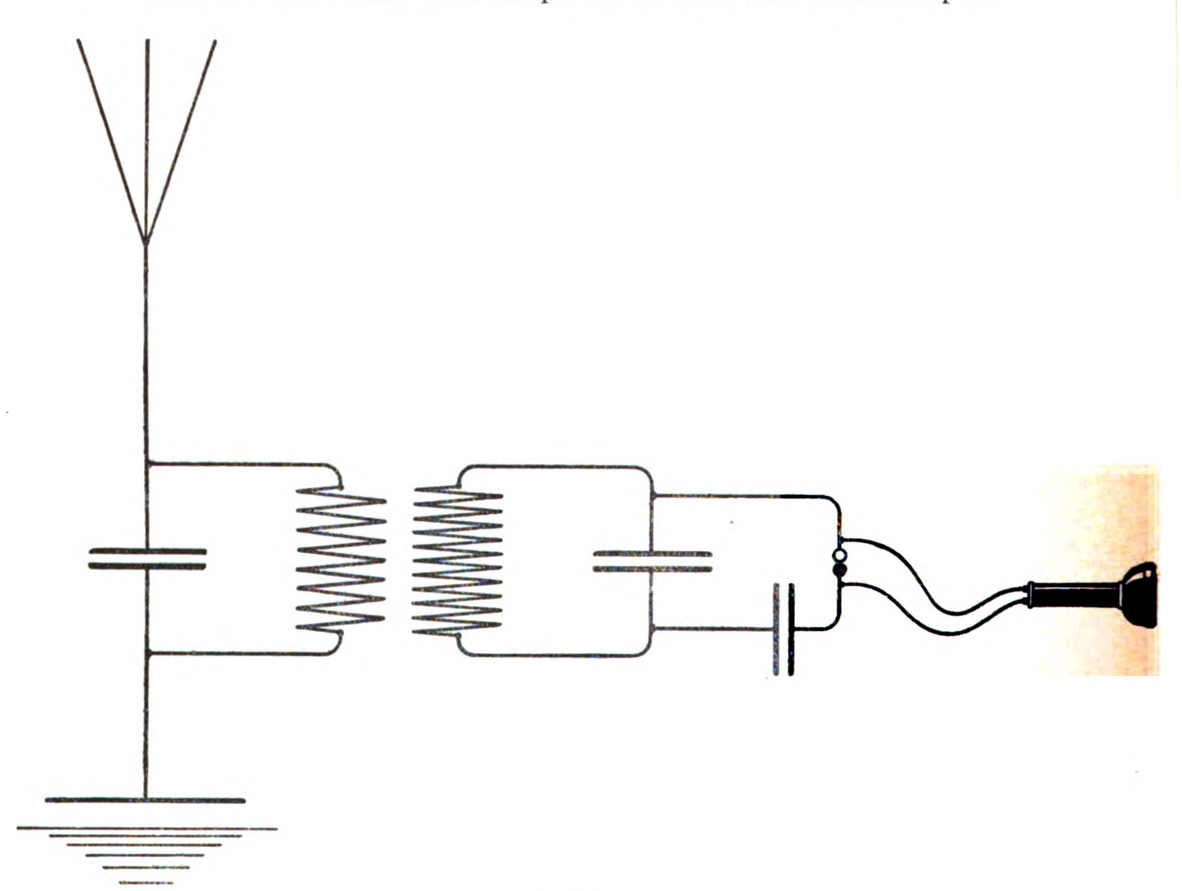


Fig. 3.

niques (1) et il est hors de doute que l'application de tels relais contribuera beaucoup à élargir le domaine pratique de la téléphonie sans fil.

Dans la téléphonie ordinaire les organes récepteurs, ainsi que

(1) Un des relais, qui semble offrir un grand avantage, est celui qui a été construit par ch. S. G. Brown; voir " Journ. of Inst. Electr. Engin. „, vol. 45, p. 590, 1910, où se trouvent encore les comptes-rendus des expériences sur l'application du relais dans la téléphonie sans fil.

les organes transmetteurs, sont constamment reliés au circuit, de façon à permettre aux abonnés de converser, à tout temps et simultanément, dans les deux directions. Une disposition analogue ne peut être établie facilement dans la téléphonie sans fil: le son prononcé dans le transmetteur d'un poste, produirait un effet si considérable dans le récepteur du même poste, qu'il serait impossible de discerner les paroles, bien plus faibles, qui sont transmises de l'autre poste; d'ailleurs, les organes récepteurs souffriraient sous l'action trop forte. Ainsi, les installations de la téléphonie sans fil établies jusqu'à présent ont été faites en général de manière à ne permettre la conversation que dans une seule direction à la fois, de sorte qu'il n'est point possible de parler dans la direction opposée qu'après avoir changé, à l'un des postes les organes récepteurs en organes transmetteurs, et à l'autre les organes transmetteurs en organes récepteurs. Ces circonstances limitent quelque peu l'emploi pratique de la téléphonie sans fil; mais les difficultés ne sont guère aussi grandes qu'elles le paraissent à première vue. Ainsi il s'est montré pratique dans la téléphonie ordinaire, aussi dans certains cas où il s'agissait d'établir une communication sur de grandes distances, d'annuler, tant que dure la réception, la fonction de l'appareil transmetteur; on est donc encore ici obligé à opérer un changement des organes qui permette de passer de l'action réceptrice à l'action transmettrice.

Par l'application de méthodes qui sont analogues à celles dont on se sert pour l'établissement de la transmission duplex dans la télégraphie ordinaire, il est, en principe, possible de compenser l'action produite au même poste par le transmetteur sur le récepteur, de façon que ce dernier soit sensible uniquement aux ondes provenant du dehors. Il est facile de voir qu'une compensation absolue n'est pas nécessaire, et que l'on peut s'en tenir à une atténuation assez grande pour pouvoir empêcher la détérioration des organes récepteurs et pour conserver les paroles arrivant du dehors, distinctes de celles qui résonnent encore dans l'appareil.

En tout cas, une installation de cette sorte, proposée de divers côtés, diminuera très sensiblement l'intensité des paroles transmises; il est donc difficile de prévoir dès maintenant, dans quelle étendue seront appliquées à l'avenir de tels systèmes duplexes.

Une téléphonie sans fil est actuellement pratiquée surtout par

des stations ambulantes, spécialement par des stations militaires et par des stations à bord des bâtiments de guerre, et sur de petites distances. En fait, elle serait aussi très utile dans la marine marchande, dans les cas où il suffirait d'établir une communication sur des distances relativement petites; et il est probable que la téléphonie sans fil, quand la partie technique en sera perfectionnée davantage, tiendra, précisément dans ce domaine, un emploi très considérable, d'autant plus que le personnel des stations ne doit pas nécessairement avoir une instruction télégraphique, ce qui, en effet, est un grand avantage, particulièrement pour la marine marchande.

Dans l'avenir il serait peut-être possible de se servir de la téléphonie sans fil pour établir des communications téléphoniques dans les cas où il serait autrement difficile d'en établir pour des raisons techniques ou d'économie. De nos jours déjà, elle sera très utile pour établir une communication entre de petites îles dans des régions où il serait difficile de poser des câbles sousmarins et de les entretenir.

Une concurrence avec la téléphonie ordinaire, dans les grandes villes surtout, n'existe absolument pas pour le moment, et il est peu probable qu'elle se manifeste jamais.

Les distances sur lesquelles il est possible de téléphoner distinctement, dépendent naturellement beaucoup de la construction des stations communiquantes et de leurs dimensions. Avec des stations bien organisées de grandeur moyenne utilisant l'arc à hydrogène, on peut compter sur une communication téléphonique sûre à des distances de 100 à 200 km. Mes expériences personnelles ont donné les résultats suivants: Esbjerg-Lyngby (Février 1908): hauteur des mâts aux deux stations 67 m., puissance primaire 3 kw., distance 270 km.; Los Angeles-San Francisco (automne 1910): hauteur des mâts 100 m., puissance primaire 12 kw., distance 550 km. Enfin, la maison " Telephon-Fabrik Actiengesellschaft vormals I. Berliner " à Vienne a obtenu pour des stations ambulantes militaires les résultats suivants: hauteur des mâts 45 m., puissance primaire 2,7 kw., distance 90 km. (1910) et hauteur des mâts 27 m., puissance primaire 2,7 km., distance 50 km. (1910).

DISCUSSION

M. le Major O' Meara (Londres) *remercie l'orateur et observe que la télégraphie sans fil est encore trop coûteuse pour l'emploi général, à cause des frais de personnel. Il pense que le succès de la téléphonie sans fil rendra possible le développement des systèmes des communications sans fil.*

M. H. Milon (Paris) *fait observer que, jusqu'à présent et ainsi qu'il résulte des communications précédentes, on a surtout considéré la téléphonie sans fil comme un mode particulier de la télégraphie sans fil ne nécessitant pas d'opérateurs aussi spécialisés.*

Il demande si l'on n'a pas envisagé la possibilité de faire communiquer des postes situés à bord d'un navire ou dans une île non reliée au continent par un câble téléphonique à d'autres postes téléphoniques ordinaires reliés à terre, au moyen de relais téléphoniques actionnant des postes de téléphonie sans fil.

M. le Président *répond qu'il a vu en Amérique un relais téléphonique se rapportant au but dont M. Milon a parlé.*



Long Distanee Telephony in America.

Rapporto sul Tema N. 23 del Congresso

Relatore FRANK B. JEWETT (New York)

In the present state of the telephonic art in America, any general paper on long distance wire telephony must necessarily deal largely with the commercial, plant and traffic problems that have arisen in adapting the scientific and technical achievements of the past two or three decades into a comprehensive system required to meet the multifarious demands of a universal public utility service for direct communication between individuals. Although the work of the scientist and engineer is each year becoming more and more important, and although vigorous attempts are and will continue to be made to improve apparatus and methods, the fact remains that at the present time the progress of scientific discovery and invention is considerably in advance of the technical art of application.

As a concrete illustration of this point the recent opening for commercial service of the telephone line between New York City and Denver can be cited. The length of this line is approximately 2,100 miles, and the work which underlay the establishment of commercial service over it involved a minimum of radically new ideas and a maximum technical application of known principles. The circuit in question is what is known as a « phantom » circuit, that is, an arrangement by which two metallic circuits are so arranged as to give a third talking

circuit, and in this particular case both the component physical or side circuits and the phantom itself are loaded. Although the application of loading to phantom circuits involved invention and an advance over and radical departure from existing practice, the fundamental ideas of both phantoming and loading were not new and, from an engineering standpoint, the achievement lay principally in so designing the loading coils and circuits, and so arranging the physical plant, that the principles of phantoming and loading could be combined to give commercial service when applied to circuits of a reasonable gauge, and forming an integral part of the existing complex toll line network. Had the problem been devoid of commercial and traffic considerations, and been merely one of providing suitable terminal apparatus and sufficiently large copper conductors to permit the carrying on of conversation over a distance of 2,100 miles, it could have been solved a number of years ago. For a long time telephone engineers in America have been thoroughly conversant with loud-speaking transmitters and receivers powerful enough to give commercial transmission over very great lengths of non-loaded copper circuits. These instruments have, from time to time, been used for special service, but have always proved inapplicable for general use in a comprehensive plant designed for both local and long distance work, and at the present time all extremely high efficiency transmitters and receivers, so far as the author is aware, are either in themselves inapplicable for general telephonic service, or necessitate uncommercial plant or traffic conditions for their successful operation on a large scale.

While special equipment and methods for long distance service may be tolerable and justifiable as temporary expedients, it seems clear that any considerable application of them is undesirable, and that one ultimate objective of the telephone engineer should be to provide a plant in which the same terminal apparatus and equipment is available equally for both local and long distance service, and which is, at the same time, a plant where the total annual charge from all sources represents a proper balance between the service furnished and the cost of giving such service. This idea has been consistently followed by American telephone engineers, and was underlying in the case of the New York-Denver circuit cited above, which circuit is one that fulfills the commercial demand for telephone service

between New York and Denver with a reasonable promise of adequate return on the money invested. It was this idea which formed the basis of the statement above, that the technical art of application at this time is considerably behind purely scientific development, i. e., that the technician has not as yet succeeded in applying commercially all of the possible means for extended telephone transmission that the laboratory worker has developed.

From a commercial standpoint the fundamental idea underlying the whole policy of the Bell Telephone System in America as regards long distance service is based on the idea that the telephone is the quickest means of direct communication between parties some distance apart, and should be available for public use for such communication, wherever adequate service can be given at a cost that is attractive to the public, and which will at the same time insure an adequate return on the money invested. In carrying out this idea it has been recognized that the necessities of the occasion largely govern the means adopted by the public for distant communication. In most instances the mail service being satisfactory as regards speed and being the cheapest of the known means of communication is employed. In other cases, where the mail service would involve too great a delay, and where there is no demand for the quickest possible means of communication, the telegraph service is patronized as being generally cheaper than telephone service, except in the case of very short haul toll traffic.

In addition to these two classes of service, which cover the major part of communications between persons some considerable distance apart, the necessities of business and social life create a demand for a faster service, and one in which the originator of the communication is enabled to give his message directly to the desired party and receive an immediate answer. It was to meet the demand for this class of service, and for any service in which direct communication between parties is required, that long distance telephony has been developed.

With this brief general statement of the objective and present status of the long distance telephone problem in America, we can proceed to a more detailed consideration of the commercial, traffic and plant aspects of the situation, taking up each phase in the order in which it must be considered in a properly organized administration.

The Bell Telephone System:

In North America practically all of the long distance telephone service is furnished by a number of companies operating in different territories contiguous but not overlapping, and together covering the entire continent and forming what is known as the Associated Bell Telephone Companies. Physically the telephone service is furnished over a network of toll and trunk lines, forming a comprehensive system for rapid inter-communication between both nearby and distant subscribers. For purposes of administration and operation, however, the lines are divided into two groups, one covering that class giving service wholly within the confines of a single operating company, and the other those lines which cross the boundaries between operating territories and designed to handle business originating in one company and destined for a subscriber in another company.

History of Long Distance Telephony in America:

To one familiar with the Bell Telephone System the term " long distance telephony „ ordinarily suggests the service of the Long Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company. This Company is the central organization of the Bell System, and while the service of its Long Lines Department comprises practically all of the very long distance telephony, it also includes a great deal of relatively short haul toll business, and some that is considerably shorter than much of the toll business of certain local operating companies. For the benefit of those not familiar with the growth of the Bell System, it may be of interest to trace briefly the history of this trans-continental public utility organization, and point out why the term " long distance telephony „ has come to be associated with one particular part of the organization.

Since the first commercial exploitation of the telephone was necessarily confined to restricted areas in each territory where it was introduced, and since it was impossible for one company to raise the funds necessary to carry on even a small development in all the cities and towns of the country, the practice very early arose of forming companies in each city or contiguous groups of cities and towns, which company was to raise

money by local subscriptions, and carry on a general telephone business under license from the central or parent organization owning the basic patents and, in many cases, owning also a considerable part of the local company's stock. Some of these local or « licensee » companies, as they were then termed, were exceedingly small, and while the majority have been gradually merged together into larger companies during the thirty-five aears' growth of the Bell System, there are among the present sysociated companies that make up the system still a few companies whose operations are confined to a single county or group of counties.

Potent among the influences that stimulated the amalgamation of the small contiguous companies into larger units were the developments and improvements in the telephone instruments themselves and in the switchboard apparatus, equipment and operating. These improvements in means and methods rapidly extended the range of commercial transmission beyond the hitherto fixed confines of a purely local exchange service and started the first expansion toward what promises shortly to be a telephone service completely covering the entire North American continent north of the Mexican boundary.

As soon as commercial transmission could be given between two adjacent exchanges, a new class of service arose that was not covered by the monthly rentals of subscribers or the existing methods of operating. From the fact that special instruments for this service were supplied at first, and that a special charge was made for each message, it came to be designated as « toll service » and the individual message as a « toll call ». This toll service extended gradually both in range and volume until, when the telephonic art had developed sufficiently to make commercial service between adjacent companies possible, it formed a very important part of the commercial telephone business.

With the ability to give commercial transmission beyond the boundaries of the local companies arose the necessity of providing some business and legal instrument for handling such service. Diversity in existing plant and operating practice, difficulty in apportioning revenue, and the fact that long distance service would frequently involve more than two companies and companies in different states, made it desirable to provide a separate organization whose sole function would be to handle

all telephone business, originating in one local company and destined for subscribers in another company. This operating organization, known as the Long Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company, does no local business, and serves simply as a trade route or connecting link between the companies that deal directly with the subscribers. In some cases, namely, in the larger cities, where there is sufficient business to warrant special groups of switching trunks from the local offices to the long distance switchboard, the only part of the local company's plant involved in an inter-territorial call is the subscriber's loop and the local switchboard apparatus. In other cases a call destined for an extra-territorial point may be carried over local toll lines for a considerable distance to the nearest American Telephone and Telegraph Company's switchboard.

With the advent of this Long Lines Department the toll service of the local companies came to be known as « local toll service » in contra-distinction to « long distance toll service » handled by the Long Lines Company, irrespective of the actual distances involved. It is this difference in designation of what is physically much the same class of service, that is so puzzling to those not conversant with the history of the present Bell System, for, as the telephone service has extended, the result has been that much of the so-called « local toll business » in some of the larger operating companies is handled over longer distances than a great deal of the business handled by the Long Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company. Also, as the process of amalgamating the local operating companies into larger and more economical working units has continued since the formation of the Long Lines Department, a considerable amount of toll business that was formerly inter-territorial has now become local under the accepted designation. In most cases, however, it has not yet been feasible to change the method of operating and the anomalous condition exists, of part of the intra-territorial toll business being handled through local toll boards and part through long distance toll boards.

At the present time the Bell Telephone System comprises 26 local operating organizations, covering all of the United States and a large portion of Canada. On account of the way in which they were formed originally, and for governmental

and legal reasons, many of these operating units are themselves composed of two or more companies. In addition to these 26 units, each doing a general local and toll business in a particular territory, there is, as has been noted, a general Long Lines Company which handles the bulk of the inter-territorial business. Across the arbitrary boundary lines of the local operating companies there is always a certain amount of short haul toll business handled directly by the local companies themselves, while, in the extreme west and southwest portions of the United States, the relatively small inter-company business combined with the great distances that separate large centers of population, have made it inadvisable to establish a separate long distance system. The local operating companies in these sections handle a large amount of toll business over distances ranging from 150 or 200 miles to 1,000 miles.

As it is difficult to define the line of demarcation between short and long distance telephony, and as electrical distance rather than physical mileage is involved, the following assumes as long distance, all telephone service for which a special charge, not covered by the subscribers local contract, is made.

General Commercial:

The general commercial considerations which underlie the present extensive toll plant of the Associated Bell Telephone Companies and which are governing its further growth, are in the main an extension of the considerations which underlie the local exchange service. In each the aim has been to provide facilities for telephonic communication wherever there was, or was likely to be, commercial demand for such service, and to handle all calls as nearly instantaneously as operating requirements and considerations of reasonable charge would justify. It is not to be inferred, of course, that the aim has been to give as fast service to distant points as is given to nearby places. In general long distance toll charges in America vary directly with the distance involved and the fact that the cost of giving a fast service between distant points is relatively greater than in the case of short haul traffic, has been taken account of in determining service standards. In general, however, every effort consistent with reasonable cost is made to put all service as nearly as possible on a « no delay » basis.

With increasing distance the factors involved in the demand for telephone service alter greatly. Calls of a purely social character, which form so large a part of local exchange service in America, decrease very rapidly once the boundaries of the exchange area or city are left and, in general, the toll calls become more and more largely of a strictly business character as the distance increases. That this should be so is natural both because social intercourse is necessarily restricted and also because it is extremely sensitive to even a small toll charge and is largely of such a character that it can usually be conducted by the slower and cheaper mail and telegraph services.

Under the conditions, therefore, that long distance telephony will be used almost exclusively for mercantile business where direct communication between subscribers is required and where rapidity and accuracy is a first consideration, the long distance or toll plants of the Associated Bell Companies have been constructed and operated with a view to establishing connections between subscribers in the shortest possible time. Owing to the concentration of business into a relatively small portion of the day, this endeavor to give a fast and uniform service at all times has necessitated the provision of much more toll line and central office plant and equipment with a consequently higher tariff than would be required if the circuits were forced to carry more messages with greater delay in completing connections.

Without attempting to enter into any general discussion of the relative merits per se of a long distance telephone service operated as nearly as possible on a « no delay » basis and one where the toll charges are reduced by subjecting the messages to considerable delay and handling more of them over each circuit, the former is unquestionably the one best adapted to present day requirements in America. It fits in with the American temperament, the ordinary business methods and with what the public has been taught to expect in telephone service, and whether or not a different principle from the beginning, namely, one of lower tariff with longer delay in completing connections, would have developed a long distance service suited to the commercial needs of the North American continent, it would be extremely difficult if not impossible to change the service on all the business at this time.

The present day commercial development of long distance telephone service in America assumes that such service, from

its nature, has a distinct place in the field and economy of distant communication, that it is inherently a supplement to and not a competitor of telegraph or postal service, and that any attempt to make it usurp the legitimate functions of either is economically unsound. Although the existing long distance plant has been developed largely to meet the demand for the principal and most obvious service for which long distance telephony is fitted, that is, for business communications, there are other classes of business, for example, the night distribution of press news, for which the long distance telephone is, in many cases, better adapted than the telegraph and which are being developed to give a circuit load for the non-rush portion of the day. The total amount of this kind of business which will eventually accrue is, of course, more or less uncertain at this time.

As long distance telephone service and telegraph service are fundamentally supplementary to each other and should be developed together, every effort is being made to insure that all future additions to plant of the Associated Bell Telephone Companies and the Western Union Telegraph Company, with which they are associated, are so provided and arranged as to afford maximum utilization of all physical equipment for long distance telephone and telegraph service, each in its own proper sphere. In addition to their own primary uses, both the local and long distance telephone are being developed as adjuncts to the telegraph in the collection, transmission and delivery of telegrams, wherever such work can be done more economically this way than by purely telegraphic methods. It is expected that this will result ultimately in a plant and methods for handling the combined telephone and telegraph business in such a way as to secure for each service a maximum efficiency at a minimum cost.

Commercial Extension of the Long Distance Toll Plant:

The commercial growth of the United States and Canada requires that there should ultimately be a universal telephone system furnishing service between any two points of commercial importance. Although the state of the technical art does not as yet admit of this general system, the entire country from the Atlantic seaboard as far as Denver, 2,100 miles west from New York City, is already fairly well covered with a network

of long distance toll lines capable of giving commercial service between any centers within the region where there is a demand for such service. On the Pacific coast of the continent a second extensive system of toll lines connects all of the important centers of population in a region 1,500 miles long by from 300 to 500 miles wide.

The territories on both the Atlantic and Pacific seaboards are being extended as fast as rapid advances in the technical art and growing commercial demands will admit and it is certain that within a relatively short time the approaching boundaries will meet and telephonic communication on a commercial scale be established between New York City and San Francisco, 3,500 miles apart.

Commercial Basis for Extension:

The question of extending long distance toll lines to points not hitherto supplied with long distance telephone service is always attended with more or less uncertainty as to the ultimate volume and kind of business which will be developed. This uncertainty is much greater in a country like the United States, which contains a large amount of sparsely settled but rapidly growing territory, than in an old, well populated region with fixed industries and trade routes. For this reason the projection of new long distance toll lines in America is always preceded by careful commercial studies intended to determine as accurately as possible for a considerable period in advance the probable future development of the region under consideration, the extent and character of its natural resources and the consequent direction of its trade routes. It is on the basis of these commercial studies that the Traffic and Plant Departments provide the facilities needed to handle the estimated business.

In the great majority of new long distance telephone routes it is inevitable that some time must elapse after the first circuits are strung before there is a paying volume of business, so that, while the American Telephone and Telegraph and Associated Companies which form the Bell System have always been foremost in advancing the development of the continent, new facilities are not provided in a haphazard fashion but are always based on studies made to determine where there will

be a demand for telephone service. In some instances large sums of money are expended on long distance lines which in themselves are not likely to become remunerative for many years, but which add greatly to the value of the local service and are vital to the proper development and provision of a universal telephone plant.

In many respects conditions in North America are favorable to the growth of an extensive long distance telephone system. The almost exclusive use of a common language north of the Mexican border, the intimate trade relations that exist between widely separated regions, the division of the continent into but two nations with a boundary parallel to the main trade routes and the development of the telephone business by a single administration are all factors which tend to remove artificial limits to the scope of long distance telephony and make its range dependent solely on the maximum efficiency of the equipment which the scientist and engineer can devise.

On the other hand, the fact that the principal trade routes are east and west rather than north and south, and in the extreme extend over sixty degrees of longitude, add greatly to the commercial difficulty of justifying a universal commercial plant, owing to the short overlapping of the business day between distant points.

Traffic.

With the commercial necessity for long distance telephone service established, the problems become those of providing proper outside plant and equipment facilities and devising, applying and enforcing suitable operating practices to give the desired service. In solving these problems the work of the engineer is of vital importance in determining the best possible means of accomplishing the desired result under the varying conditions to be met.

While certain fundamental plant factors, for example, the different physical characteristics of open wire and cable circuits and the practical impossibility of giving very long distance transmission over anything except open wires of large gauge and high cost, place certain definite limitations on the operating methods employed, the plant provided for any given long distance service is, in general, determined largely by the Traffic

Department rather than the Traffic Department adopting methods of operation to suit a plant installed without reference to the traffic to be handled, this despite a widespread belief to the contrary. The fact that traffic conditions, volume and character of business, length of haul, etc., are, to a large extent, controlling in determining the operating method and type of toll plant and equipment that should be provided in any given case, has been fully appreciated in planning the long distance plant for the associated Bell companies and in the regular routine followed in the provision of entirely new routes or additions to existing plant. It is also recognized that the Traffic Department should, within limits, determine the character of wire that must be installed to provide a satisfactory grade of transmission in accordance with predetermined standards.

Handling of Long Distance Calls:

There are two general classes of toll service given in America, namely:

a) Particular Party Service.

b) Number Service.

Of these the first, or particular party method, in which the calling subscriber asks for a telephone connection to a particular party and is not, in general, charged unless the person he desires to talk to can be reached, is the older and is used almost exclusively for the business handled over lines of approximately thirty miles or more in length. The calling by number service in which the calling subscriber asks only for a connection to a certain telephone at the distant point and is charged if this telephone is reached irrespective of the party answering, is confined almost exclusively to toll business of relatively short haul and low charge and is handled principally in all cable circuits between common battery offices. As employed in America, it is essentially a service of extreme rapidity, and one in which the calling subscriber generally remains at his telephone from the time he places his call until the conversation is completed or a report of inability to complete the connection is received. In this connection it may be noted that the experiment of a combination of particular party and number calling service has recently been started on one of the longer and more important cable toll lines of the American Telephone and Telegraph Company. The principal question involved in service of this

kind, where the subscriber has the option to choose between methods, is the determination of what rate differential, if any, should be made between the two classes of service, and under what conditions the subscriber would desire to use the quicker number calling method at a possibly lower tariff rather than choose the slower particular party method, in which he is charged only if the person he desires to talk to is available.

As was stated previously, the underlying principle of all long distance telephone service in America, whether handled on a particular party or number calling basis, is to place the parties desiring to talk, in communication with each other as quickly as possible consistent with a charge that will not in itself tend to prohibit a general use of the telephone for the particular class of communication for which it is adapted. The existence of two general classes of service results from the great diversity of traffic and commercial conditions under different circumstances. From the standpoint of rapidity and economy of operation the number calling service is undoubtedly preferable where conditions are favorable to its operation; for example, where there is a relatively large volume of short haul business and where the message charge is low. Although this class of service is growing in amount and range, there is serious question as to just how far it can be successfully and economically applied.

For the longer haul traffic it is clearly impossible to give an appreciably quicker service, together with a materially lower rate by the substitution of number for particular party calling. Even in those cases where it appears that economies might result and the average cost to subscribers be reduced by a more general extension of purely number calling, there is a serious psychological question to be considered, namely, the deterrent effect on the long distance telephone-using habit due to the subscriber's remembrance of money expended for connections completed to the called number but resulting unsatisfactorily through failure to get into communication with the desired party. Some years ago careful observation of a large number of toll connections made on a number calling basis disclosed the fact that in about 10 per cent of the cases where the telephone asked for was connected, the party for whom the calling subscriber asked was not available. While this percentage of what might be termed « subscribers' lost calls » may be entirely

satisfactory in the service that was under observation, namely, local toll service from New York, where the rate is relatively low and where any adverse effect of an occasional lost call is offset by the quicker service and reduced charge on the high percentage of calls completed, it is questionable whether even a smaller proportion of failures to reach the desired party might not have a very serious deterrent action on the tendency to use the long distance telephone if the charge was relatively high. It seems probable that this might be true even in the case of regular telephone users, who are those that on the average would benefit most from the adoption of this service.

Even in those cases where there was good reason to believe that the subscribers would benefit from the substitution of number for particular party calling, this unknown psychological element has been one of the principal factors considered with the result that where number calling has seemed desirable beyond the tariff range within which it is clearly advisable, it has generally been considered necessary to give an optional particular person service at a somewhat higher charge. In some cases the difference between the rate for a number call and a particular party call is fixed and each service is given in the normal way, i. e., a subscriber electing the particular party service is charged only in case the desired party is reached. In other cases, notably the local toll service in the vicinity of New York City, the patron electing to make a particular party call is charged a fraction of the number calling rate if the desired telephone is reached, but the party asked for is not available, and more than the number calling rate if the connection is successfully established.

Operating Methods for Handling Toll Calls.

Number Service:

As stated above, number calling for toll service in America is confined almost exclusively to short haul traffic, usually within a radius of thirty miles. In this class of service the connection is usually completed by the « A » operator either by means of direct trunks or by tandem operation where direct trunks are not warranted. Where neither of these methods is

feasible the connections are made through special toll positions. As stated previously, the service is so fast, practically all connections being established in less than one minute from the time the calling party signals his « A » operator, that a subscriber usually remains at his telephone continuously until the connection is completed.

A subscriber desiring to make a call where number service is in vogue obtains the number of the party desired from the telephone directory and transmits it to the « A » operator in exactly the same manner as would be done for a local call. If the number desired is one in an office reached by direct trunks from the originating office, the « A » operator completes the connection herself. This possibility occurs generally between offices provided with common battery boards and between which there is sufficient volume of business to warrant the employment of call circuit trunks. In completing such a connection the « A » operator goes in on a call wire to the office desired, passes the called number to the « B » operator, receives a trunk assignment from the latter and completes the connection in exactly the same way that she would complete a local trunk connection. The « A » operator makes a ticket on which are recorded the numbers of the calling and called for party, together with the time of beginning and end of the conversation.

In such a call only two operators are concerned. Only the « A » operator can listen in and she alone is responsible for the connection. It is obvious that this method of direct operating for toll lines cannot be employed satisfactorily except on a number basis as the drag on the « A » operators if charged with making out tickets with names and getting particular parties to the telephone would result in such a reaction on the local service as to make it intolerable.

A modification of the above, but one in which the operating and recording are done by the « A » operator, is known as the « tandem » method. In this method which is employed where direct trunks between all offices are not warranted, trunks from a number of offices are terminated at special tandem positions at a central point. The « A » operator, upon receiving the number desired from the subscriber, passes the number by call circuit to the tandem « B » operator and receives a trunk assignment from her. The latter passes the number over another call circuit to a « B » operator at the office desired, and in

turn receives a trunk assignment from the tandem office to the point called.

In those cases where the completion of number calls on the A-B or A-tandem-B methods is not warranted, and this is usually the case where the provision of circuits on a no-delay basis cannot be justified, a special toll board method of operating is employed. With this method the « A » operator makes no ticket, but upon receipt of the number from the subscriber, passes the call over a ringdown recording trunk to an operator at the toll board provided for handling this class of service. This latter operator, who is a combined line and recording operator, makes a record of both the numbers called and calling on a ticket. She then secures a connection with the called number, and while waiting for an answer secures a trunk connection with the calling number. She also supervises the connection and records the length of conversation on the ticket.

In this method the outward combined recording and line oprators are usually a special group of toll board operators working as one large team, their positions being equipped with a complete multiple of toll lines to all points reached by this method. The inward traffic is handled by a separate group of operators. In some cases these inward positions are at the toll board, inward calls being completed over the regular toll switching trunks, and in other cases, particularly in single office districts, the inward operators are located before the local multiple.

Particular Party Service:

As stated previously, the majority of the long distance telephone business in America for distances in excess of thirty miles is handled on a particular party method of operating. With this method if Mr. A wishes to speak to Mr. B at some distant point he gives the necessary information to the proper operator and does not remain at his telephone, being called to it only when the connection is ready or it is necessary for the operator to make some report regarding the call.

While variations in equipment and methods have resulted in numerous special ways of handling particular party business, the following is a description of those methods most generally employed on the long distance lines of the associated Bell companies.

Method of Making and Recording Particular Party Calls:

The first step in the completion of a particular party long distance call is recording. The system of recording most generally used at the present time is the so-called « direct recording method » in which the « A » operator connects the party desiring to make the call directly over a ringdown trunk with the recording operator, who receives from him the details of the call and records them on a ticket. At the completion of recording the recorder reaches and holds the line of the party calling on a switching trunk (whose number is also recorded on the ticket). Holding the subscriber's line pending the completion of the call is important in order that the call may be completed as rapidly as possible and that toll line time may not be sacrificed due to the calling subscriber's line becoming busy locally.

The time for which the line of the party calling may be held preparatory to the completion of a long distance call is limited to about ten minutes. It has been found in practice that by holding the line for this period the bulk of the long distance calls can be disposed of in some definite manner before the line of the calling party is released, and for the relatively few calls on which the delay is in excess of ten minutes it is felt that an extended withholding of the subscriber's line from local service would impose a hardship on him.

Establishing Connection:

Upon completion of recording, the ticket is sent to the proper line position by pneumatic tubes at offices of considerable size or by messenger at offices where the traffic would not justify the provision of expensive carrier equipment. The operating methods under which most of the long distance traffic of the Bell System is handled require that the number of the party called be placed on the ticket at the originating office. In such cases if the number of the party called for has not been furnished by the calling subscriber, the ticket is sent to a special directory position where the required number is affixed before it is sent to the line position.

The outward line operator, upon receiving the ticket, immediately takes up the switching trunk on which the line of the calling party is being held. The method followed by the line

operator in completing the call from this point differs according to the line operating method in use. The most important of these in use on the lines of the Bell System are briefly described below.

Single Ticket Method Applied to Open Wire Lines:

Approximately 70 per cent of all particular party long distance telephone service in the United States is handled on a single ticket method of operating in which the outward operator deals directly with the called party. This, of course, limits the method to those cases where the transmission is sufficiently good to admit of easy intercourse between the outward operator and the called subscriber.

In this method of operating all signalling on the toll lines is done by ringing, and the toll line group is used as a unit, business in either direction being handled over any circuit in the group. Upon receipt of the ticket from the recorder the outward operator reaches the toll board at the office of the party called in accordance with her routing instructions, and requests the inward operator at this point to connect her with the line of the party called. The inward operator establishes the connection, rings the party called and supervises sufficiently to insure his answer. The outward operator thereafter deals directly with him. This method by centering the responsibility for completing and timing the call wholly upon the outward operator, keeps her constantly attentive to the call, insures her presence on the toll line to deal with the party called, and complete the call promptly. It results in a smooth and speedy operation which is economical of circuit time and insures a high grade of service.

If the call becomes delayed, due to inability to reach the party called, the outward operator leaves the necessary instructions at the inward office, releases the toll line and waits until advised by the inward operator that the party called is available, this in order to conserve toll line time. Such a contingency, however, does not relieve the outward operator from the primary responsibility. It is her duty to assure herself at all times that the call is receiving proper attention.

As its name would imply, the only record of a call handled on this method is the ticket at the originating office. The method

is in general use wherever the transmission conditions are such that the outward operator can deal satisfactorily with the party called and provided there is an appreciable amount of traffic. In order that this method may be employed without undue delay, and sacrifice of toll line time it is essential that the number of the party called be provided at the originating office. The originating office must in general be supplied with up-to-date directories of those points with which it operates by this method and the expense of providing these directories limits to a slight extent the application of the method.

In connection with this and other single ticket methods, special means are taken to obtain for the Auditing Department a check on the accuracy of the originating offices in reporting the business. This kind of a check is not required with two ticket methods of operating where the inward ticket record can be used as the basis of a scheme of check reports for the auditor.

Single Ticket Method Applied to Cable Toll Lines:

A modification of the single ticket method of operation just described is employed in a number of places, notably between New York and Philadelphia, Providence and Boston, Chicago and Milwaukee, where the toll lines are wholly in loaded underground cable. In these cases call circuit methods are employed for reaching both parties, the inward operator at the office of the party called being a « B » operator and frequently a tandem « B » operator. With this method, the outward operator has the same complete supervision as an « A » operator on a local trunk call.

Due to the call circuit and direct supervision features of this modified single ticket method, it is usually applied to cable circuits and on routes where there is sufficient business to justify a separate group of circuits for handling business in either direction. Owing to the great extension of underground toll lines in America, it is probable, however, that more and more of the long distance traffic will be handled by this or similar methods.

Two Ticket Method:

In cases where the transmission conditions are such that the outward operator cannot deal satisfactorily with the party

called, where the traffic is inconsiderable or where arrangements cannot be made to obtain a suitable check for auditing purposes, a two ticket ringdown method of operation is in use.

In this method the outward operator passes the details of the call, as recorded on the ticket, to the inward operator at the distant point and then waits for the inward operator to reach the party called or make suitable report. The inward operator, who is responsible for reaching the party called or making proper report to the outward operator, prepares an inward ticket containing the essentials of the call as supplied by the outward operator.

With the two ticket method the responsibility for the completion of a call is divided, and slower operation and less economical use of the circuits result. It is estimated that the introduction of single ticket methods has improved circuit efficiency approximately 10 per cent and operator loads by more than 50 per cent.

Morse Methods of Operating:

A method of long distance operating in considerable use at one time, but now practically superseded by the methods described above, required the passing of the ticket from the outward to the inward operator by telegraphic means. While, theoretically, savings in toll line time might be anticipated by this means, due to the toll lines being employed only after the subscribers are ready to talk, their operation in practice has not been found satisfactory. A serious objection to telegraphic methods results from the fact that the called party is brought to the telephone for the purpose of ascertaining his readiness to talk, and is then required to hang up his receiver until the connection can be established. Long delays at the telephone are experienced by both subscribers before being finally brought together on the message circuit assigned to the call.

In all the particular party methods described above a certain amount of toll line holding by the outward operator, awaiting the completion of the call is allowed under prescribed rules. Experience has shown that a limited amount of such holding of the toll lines in cases where delay is experienced, not only expedites the completion of the call, but conserves circuit time in the long run. In practice, approximately 50 per cent of the long

distance business goes up without delay at the inward office beyond that necessary for bringing the particular person called, to the telephone. In the remainder of the cases where delays are encountered in reaching the line of the party called or the party called himself the steps to be taken by the operator and the latitute allowed her in holding the toll lines are carefully specified under rules made to obtain the greatest possible economy of toll line use.

Service Standards:

The aim of long distance service in America being to complete all connections in as short a time as possible consistent with reasonable cost, each class of service is handled subject to time limits within which the call must be completed or a report made to the party calling, indicating that the delay is from a cause beyond the control of the company. While these time limits vary greatly in different localities under different conditions, ranging from 5 minutes in the case of relatively short distances to 40 minutes in cases where the distances are very great or the business very scattering, it is interesting to note that the bulk of the long distance traffic of the American Telephone and Telegraph Company is handled under a 15 minute time limit and the average speed of the service corresponding to this time limit, is about 5 minutes.

The toll plant is engineered with the time limits in view.

Service Observation:

In order to enforce operating instructions, a complete system of secret service observation which calls for detailed scrutiny of a small percentage of the business, has been developed. This service observation is performed by operators specially trained to observe every detail of the work of the regular operators from the start to the finish of a call. The system in vogue splits up the call into its essential elements, assigns standards to the various steps and calls for summarizing by service observers at the various offices of the information obtained in such form that faults in operating may be readily detected. The service observer also obtains data for the special check required by the Auditing Department on single ticket traffic.

Segregation of Operators' Labor:

At any toll office there are several distinct classes of labor performed, for example, recording, outward operating, inward operating, through operating, and many miscellaneous classes of work of less magnitude, such as information work, distribution, directory work, etc. As these operations are all more or less distinct in kind, the well-known shop principle of assigning a particular task to each operator has been consistently carried out in the handling of long distance traffic, and it is the general practice at relatively large offices to segregate the work according to its character and assign a particular group of operators to each class of service. The toll line switchboard equipment is all arranged with this idea in mind.

Outward line operating is done on a point to point basis, for example, Boston-New York traffic is handled by one set of operators; Boston-Buffalo traffic by another operator or set of operators, etc. The necessity for this arrangement lies in the fact that calls are likely to become delayed at the inward office requiring the outward operator to lay the ticket aside pending the receipt of further information on the call from the inward office. In such cases it would be difficult to distribute this information from the inward office to the proper outward operator unless the business to each particular point was handled by one operator or set of contiguous operators. In the case of recording, single ticket inward and through operating, however, the operators work in teams, that is, the equipment is so arranged that each operator has access to each incoming signal. This teaming of the operators when the character of the work permits, results in higher efficiency and improved work on the part of the operators. The loads which an operator can handle vary with the nature of the duties assigned to her; they are fixed by balancing the operating work cost at a particular load against the service drag or loss in circuit time incident to the load. On account of this variation in operator loads unit systems are in use in which the various operator loads are expressed in terms of a common unit, so that cost and efficiency comparisons can be made under the widely varying conditions of practic.

Joint Operation on Local and Long Distance Toll Boards

In the past, separate switchboards for handling the toll service of the local operating companies and that of the Long

Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company have frequently been provided. This practice resulted in part from transmission conditions which frequently made it desirable to locate the toll board of the Long Lines Department away from the center of the city, where the local company's board would normally be placed, in order that the transmission losses incident to the toll entering cable required for taking the open wire circuits into the city might be eliminated on connections to points beyond the city. Considerable differences of operating practices among the various associate companies also made it, in many cases, advisable for the Long Lines Department to maintain and operate its own switchboards. The extra long haul service with which it was particularly concerned was more difficult to handle as a rule than the shorter haul local toll traffic, and in order to insure the use of best practices for this service, separate switchboards were maintained.

With the advent of large gauge cable conductors for bringing the open wire toll lines into the city and with rapid progress in the standardization of operating methods, the argument for separating long distance and local toll boards is rapidly disappearing and the present tendency is toward the use of a single board for both classes of service. In order that the subscriber may place his call as easily as possible, it is always desirable that there should be joint recording.

Plant.

Extent:

The total extent of the plant of the Associated Bell Telephone Companies involved in long distance telephony aggregates at the present time a total of approximately 2,000,000 wire miles; this exclusive of the trunks connecting the long distance switchboards to the local offices. Of this total wire mileage about 80 per cent is in the form of open wire circuits on about 168,000 miles of pole line, and the remainder is in cable circuits principally underground. In addition to the plant used exclusively for long distance business, the plant for exchange service and for connecting individual subscribers with the toll system comprises about 9,700,000 miles of wire.

Of the total open wire toll mileage about 27 per cent is comprised in the toll circuits of the Long Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company, which, as noted above, handles inter-territorial business only. Of the total toll cable circuit mileage, the lines of the American Telephone and Telegraph Company comprise about 21 per cent. The average length of a long distance connection over the circuits of the American Telephone and Telegraph Company is roughly 200 miles, the length of open wire connections varying from about 10 miles in the case of the shortest service handled, to about 2100 miles in the case of a New York-Denver connection; while for connections handled over all cable toll lines, the range is from about 40 miles to 90 miles. In the case of long distance service handled entirely by the local operating companies, the corresponding distances are, of course, considerably less than these figures.

Character of Long Distance Plant:

Practically all of the open wire mileage noted above is in the form of hard drawn copper metallic circuits, many of which are equipped with inductance coils in accordance with the Pupin system for loading. There are some iron circuits in the long distance plant of the local operating companies, and in a few instances, circuits of aluminum. Practically no bronze wires are employed. The size of copper ranges from No. 14 N. B. S. G. (diameter .080″ = 2.03 mm.) weighing approximately 102 lbs. per wire mile (28.9 Kg. per wire Km.) to No. 8 B. W. G. (diameter .165″ = 4.19 mm.) weighing approximately 435 lbs. per wire mile (122.5 Kg. per wire Km.), the most common size being No. 12 N. B. S. G. wire (diameter .104″ = 2.64 mm.) weighing approximately 173 lbs. per wire mile (48.7 Kg. per wire Km.). The smallest size (No. 14 N. B. S. G.) is employed only in the long distance plants of the local operating companies and on relatively short toll lines where the traffic handled is principally between the terminals of the line, that is, where the lines are not destined to be switched to other toll lines for extended service. The No. 12 N. B. S. G. circuits are employed for practically all toll lines up to about 600 miles (965 Km.) in length, and the largest size wires (No. 8 B. W. G.) are used for the longest lines.

Many of the open wire circuits are arranged to secure a third talking circuit from two metallic circuits, that is, are « phantomed ». In the toll plant of the American Telephone and Telegraph Company, the great bulk of the circuits are composited or simplexed for simultaneous telephone and telegraph operation in addition. The arrangement of open wire circuits for phantoming is being extended with great rapidity and with the more intimate development of a combined commercial telephone and telegraph plant, the compositing and simplexing of toll circuits for simultaneous telephone and telegraph operation is being applied generally to all long distance lines.

In the case of long distance toll lines in paper cable, the soft drawn copper wires vary in size from No. 19 B. & S. (.036″ = .915 mm. diameter) weighing about 21 lbs. per wire mile (5.9 Kg. per Km.) used in the shorter toll connections to No. 10 B. & S. (.102″ = 2.59 mm. diameter) weighing approximately 166 lbs. per wire mile (46.8 Kg. per wire Km.) in the New York-Washington cable (235 miles = 378 Km.) now being installed. Up to the present time, the largest size wire in common use for long distance telephone lines in cable has been No. 13 B. & S. (.072″ = 1.83 mm. diameter) weighing approximately 83 lbs. per wire mile (23.4 Kg. per wire Km.). Whether the wires employed for long distance circuits wholly in cable are large or small, they are invariably equipped with inductance coils after the Pupin system, as will be noted below. The same is almost invariably true of all cable circuits employed for bringing open wire toll lines into cities, whenever the length of such cable circuits is sufficient to warrant it.

In the case of long distance telephone lines wholly in cable, the service, as will be noted below, is usually confined to terminating business, any switching that may be done being to cable toll circuits or switching trunks to local central offices at no considerable distance from the toll board. The operating on such circuits is that described above under traffic operating methods where the constant physical conditions of cable circuits are taken advantage of in the employment of direct current methods of signalling and supervision.

In the case of cable circuit toll lines in the plant of the American Telephone and Telegraph Company, the wires are composited or simplexed for simultaneous telephone and telegraph operation if required.

Pole Lines:

At the present time, the great majority of the long distance pole lines in the United States and Canada are built along public highways. Private rights of way, not following highway routes directly are employed to a certain extent, but, in the main, the greater cost of construction, combined with the difficulty and expense of maintaining lines across private lands, especially in rugged and sparsely settled regions, has made it more economical in general to follow highway routes and to resort to private rights of way only in the case of very important lines where every advantage of shortened distance must be taken and where there are sufficiently numerous highways to make the line maintenance reasonably economical. In some cases, also, previous occupation of highway routes by electric railway, power and lighting circuits, has made it advisable to run long distance pole lines on private rights of way for the whole or part of their length.

In the main, long distance telephone lines have been run on poles used exclusively for telephone circuits, both the local operating and long line companies' wires being carried on the same poles, but on different crossarms. In some instances there has been joint occupancy of poles by long distance telephone and telegraph circuits, and the present development is such that this joint occupancy is likely to increase in the future. In a very few instances, long distance telephone circuits are run on the same poles with electric power and lighting circuits, but this practice is avoided wherever possible, and when resorted to is established under stringent rules governing the character of the high tension circuits and every detail of constructing and maintaining the pole leads.

Wooden poles are employed almost exclusively, the principal timbers in use being cedar and chestnut in the central and eastern part of the continent, fir and redwood along the Pacific coast and chestnut, red cedar and yellow pine in the Southern states. Very extensive experiments are at present being conducted with concrete poles, but the relative costs of wood and concrete are such that, except in special cases, concrete poles cannot be economically proved in.

The character of the pole lines varies with the character of the country and the number and importance of the circuits to

be carried. In relatively open country and where the ultimate number of circuits to be installed during the life of the pole line is not large, 25-foot and 30-foot poles are the rule. In more rugged country, or where the ultimate circuit load is to be heavy, the average height of the poles may be as great as 40 or 50 feet. In all classes of lines, the standard spacing of poles is at the rate of about 40 to the mile, variations from this being made, of course, to take care of abnormal local conditions. The poles are arranged for equipment with wooden crossarms to carry insulators mounted on wooden pins. The standard crossarms are 10 feet long and are arranged for 10 wires each, the pins being spaced 12 inches apart except in the case of the two adjacent to the pole, where the spacing is 16 inches. The crossarms are attached to the pole with a standard spacing of two feet. At the present time, practically all of the crossarms used for the construction of long distance lines are impregnated with creosote. The insulator pins which are usually of locust wood, are not treated.

Owing to the rapidly increasing difficulty and cost of securing poles of the proper size and character, a great deal of engineering work has recently been done in connection with various types of pole butt reinforcement, and as a result, standard specifications have been prepared for the reinforcement of pole lines where the poles have become seriously weakened through rotting at the ground line, and where, without reinforcement, it would be necessary to replace the poles with entirely new timber. This reinforcement serves to greatly prolong the useful life of the pole and results in very considerable plant economies.

In all cases pole lines are constructed in accordance with carefully prepared specifications based on the results of elaborate engineering tests and a large amount of experience. These specifications, in the case of any particular line, not only provide for the proper length, size and grade of the poles to be used, but also insure the proper guying of the line to conform to the requirements of the country traversed. Very careful inspections and rating of poles in accordance with set standards, are made during their life, and the replacement or reinforcement of poles is based on the results of these inspections. This procedure has been found essential to the proper continuity of working of the long distance circuits as it greatly reduces the

likelihood of interruption in times of storm caused by the presence of weakened poles.

Arrangement and Transposition of Wires:

The standard arrangement of wires in the long distance telephone plants is to have the metallic circuits formed from horizontally adjacent wires, that is, the first two wires at one end of the crossarm form a metallic circuit, the next two a second metallic circuit, and so on. This gives on each crossarm one circuit that spans the pole.

In order to prevent crosstalk or over hearing between adjacent circuits, each pair of wires is transposed in accordance with a perfectly definite and carefully worked out scheme which balances every circuit against every other circuit on the pole lead. In the standard system of transpositions generally employed on the long distance telephone leads, the lead is divided into a number of equal sections approximately 8 miles in length, irregular length end sections being specially treated. Each of these 8 mile sections is divided into 32 smaller sections approximating 1300 feet in length, and it is at the ends of these sections that the transpositions are made.

Taking the 8 mile section as a basis and the quartermile lengths as units, a complete scheme of transposition has been devised in accordance with definite rules whereby each circuit is transposed against every other circuit at least once every 8 miles, adjacent circuits being transposed very much more frequently than circuits at a considerable distance from each other where the tendency to crosstalk is small. Wherever a pair of wires is transposed, the process consists of a horizontal interchange of pin positions for the wires involved. With this arrangement, the single metallic circuit is the unit in the transposition system, and except where the circuits are phantomed, the two wires of any given circuit always occupy the same two horizontal pins, the individual wires merely alternating from one pin to the other.

Phantoms are created from horizontally adjacent metallic circuits, that is, wires 1-2 and 3-4, or 3-4 and 5-6 are combined to produce three talking circuits. The only general exception to this is in the case of the pole pairs where phantoms are created from pole pairs on adjacent crossarms, that is, a ver-



tical phantom is produced. This is only resorted to when the four outer wires on either end of the crossarm are combined as two phantoms or where circuits on either side of the pole pair are of a gauge different from the pole pair.

The process of creating a phantom from two physical circuits consists in treating the phantom circuit as an additional circuit on the pole lead and properly transposing it with regard not only to all the other physical and phantom circuits on the lead, but also with regard to its own component physical circuits. The phantom transpositions are made at the regular transposition points and involve four different types of cross-over for the four wires.

The problem of developing a suitable transposition system involving phantoms, is exceedingly more complex and difficult than one involving metallic circuits only. In the standard system employed in America, proper transpositions for each circuit have been so arranged that circuits can be added one at a time without necessitating transposition changes in the existing circuits, and so that phantoms can be created from any two existing horizontally adjacent circuits without necessitating transposition changes in any but the two circuits involved in the phantom. The arrangement also permits of the proper loading of both physical and phantom circuits.

As the standard transposition system is devised to eliminate interference produced by circuits on the same pole lead, it frequently happens that additional physical and phantom transpositions are required to balance the circuits against induction from extraneous parallel light and power circuits. In order not to disturb the internal balance of the system, this is usually accomplished by one or more « whole line » transpositions in which at one or more points intermediate between the regular transposition poles in the exposed section, all of the circuits both physical and phantom are turned over.

In this connection it should be noted that for certain kinds of exposure, e. g. exposure to grounded single phase railway circuits where large potentials to ground may be induced on neighboring telephone wires, transposition of the telephone circuits will not eliminate trouble. In America trouble of this kind is cared for by the introduction of compensating transformers wherever the telephone circuits cannot be sufficiently removed to eliminate induction. These transformers have mul-

tiple secondary coils for insertion in the telephone wires and single or multiple primary coils for connection to wires parallel and adjacent to the telephone circuits and grounded at the ends of the exposed section. By means of these transformers potentials equal and substantially opposite to the disturbing potentials are induced on the telephone circuits. The wires used in connection with the primary coils may be themselves used for certain kinds of telephone circuits.

Two arrangements for making circuit transpositions are in general use: 1, the single pin transposition, and 2, the individual insulator transposition method. In single pin transpositions where physical circuits only are involved, the two wires to be transposed are brought together on a double groove insulator at the transposition point, wire in position No. 1 on the pole to the left of the transposition pole going to position No. 2 on the pole to the right of the transposition pole, and vice versa. Phantom transpositions on this system are made by employing two single pin transposition insulators, one on the crossarm and one on a bracket beneath the crossarm. This system has been found to be satisfactory for non-loaded circuits and loaded circuits of relatively small gauge. In the single insulator scheme of transpositions, physical circuits are transposed by carrying one wire to an insulator on the crossarm and one wire to an insulator on a bracket beneath the crossarm, and phantom transpositions are made by carrying the four wires to four insulators arranged in a vertical row by means of a bracket. This system is necessary when an extremely high degree of line insulation is required and has been found to be satisfactory for large gauge loaded circuits.

No long distance telephone circuits are in use in America transposed in accordance with the method in which two physical pairs form a unit and the transpositions are made by spiraling these wires simultaneously.

Loading of Open Wire Circuits (1):

All the long distance open wire toll lines of both the Long

---

1) ***The Commercial Loading of Telephone Circuits in the Bell System,*** **BANCROFT GHERARDI, Proc. American Institute of Electrical Engineers, June, 1911, p. 1463.**

Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company and of the local Associated Bell Companies are being rapidly equipped with inductance or loading coils. This work has been going on commercially on a large scale for the past six or seven years. Numerous difficulties in the manufacture, installation and maintenance of loading coils and loaded circuits which developed in the earlier attempts to load circuits commercially were overcome and at the present time loading of open wire lines is far beyond the experimental stage and has resulted in great extensions in the range of long distance telephony. Already there are approximately 85,000 miles of loaded aerial circuits of various gauges in commercial service, and this is being added to at an extremely rapid rate.

One of the principal difficulties that had to be overcome was the matter of crosstalk or over hearing between loaded circuits, and this has been accomplished by the development and introduction of the standard transposition system, which, on account of its well balanced character is particularly adapted for loading. With lines transposed in accordance with this system loading coils can, in general, be inserted at proper distances without requiring any transposition changes. This is true both of the coils required for loading physical circuits and the coils required for loading phantom circuits.

Two other difficulties which have confronted the engineers and which have been successfully overcome on a commercial basis, are the matter of insulation and protection against lightning destruction of the loading coils.

Up to the time the loading of open wire circuits, especially of large gauge, became a commercial necessity, the standard insulator employed on long distance telephone circuits in America was a single petticoat (shed) glass insulator mounted on a wooden pin. Porcelain insulators were not employed owing to their relatively high cost and the difficulty of securing a satisfactory uniform product.

While the single petticoat glass insulators were satisfactory for non-loaded circuits, it was early discovered that in times of humid weather they did not give sufficiently high insulation to maintain requisite efficiency for the loaded circuits. As a result of extended engineering study and experiment a double petticoat porcelain insulator for mounting on the standard wooden pin has been developed. This insulator gives a com-

mercial degree of line insulation at all times. On account of high labor costs in America which practically preclude the possibility of using the more efficient forms of turned insulators standard in European administrations this insulator is of the moulded type. A careful study has indicated that under the conditions prevailing in America at the present time, wooden pins are more economical than iron ones for general telephone service.

In the matter of lightning protection for the loading coils, a large amount of experience and development work has resulted in the production of a type of loading coil construction and a form of lightning arrester on which the combined maintenance is extremely small. In connection with this feature, it should be noted that lightning disturbances in some parts of North America are of extreme severity, and also, that on account of the great distances and sparsely settled character of much of the country traversed by many of the long distance lines, it is necessary to provide a loading coil of high dielectric strength and an arrester whose operation, except on discharges of great severity, will not impair the operation of the circuit. In many instances, loading coils may be located fifty or more miles from the nearest lineman's house and any considerable number of troubles that suspend service on the circuit until cleared by a lineman would be fatal to the commercial application of loading.

As noted, these principal difficulties have been successfully overcome and the very great increase in range that results from loading have made it one of the most valuable factors in the commercial extension of long distance open wire telephony. At the present time, there is little question but that within a very short period, all but the very shortest toll lines will be equipped with inductance coils. As will be pointed out below, one factor that is having a great influence on the desirability of loading all open wire circuits is the necessity for using very considerable amounts of loaded cable for the terminals of toll lines and for toll switching trunk purposes. The presence of these loaded cables has, to a large extent, eliminated the question of reflection loss at the end of the loaded open wire circuit.

Loading of Phantom Open Wire Circuits:

The most recent development in the art of aerial loading has been the production of loading coils suitable for a combination of « phantoming » and loading and in which not only the component physical circuits but the phantom as well derive the benefits which accrue from the proper introduction of inductance coils at regular intervals. This development which requires three coils at each loading point, namely, one coil for each physical circuit and a coil for the phantom circuit, has removed a serious bar to the universal application of loading long distance telephone lines, that formerly existed. Prior to the recent development work which has made phantom loading on a commercial · scale possible, it was necessary to choose between the extension in range due to loading or the economies derivable from « phantoming ». In the standard engineering practice which now exists, it is possible to obtain both results and with an arrangement in which the phantom circuit is of materially higher efficiency than the physical circuits of which it is composed.

The accomplishment of this advance in the art of long distance telephony has, however, necessitated an increased degree of vigilance and care on the part of those responsible for the maintenance of the plant, as loaded phantom circuits can only be installed commercially on lines where the highest degree of maintenance is exercised. Phantom loading of aerial circuits is being extended as rapidly as the existing plant can be put in proper condition, and all new work is being done on the basis of immediate or future application of phantom loading coils.

Long Distance Circuits in Cable:

Some years ago the increasing circuit congestion on some of the more important toll line routes of the American Telephone and Telegraph Company, made it imperative that relief be provided in a form other than by additional pole lines. In some cases it was found practically impossible to secure additional pole line routes and in all such cases the importance of the heavy traffic was too great to hazard the continual danger of paralysis during the stormy winter months when line breaks due to sleet and snow were to be feared.

At the time this question arose the loading of small gauge wires in cable for local exchange work and for short haul local toll work had been proved an entirely commercial possibility, and great lengths of such circuits were being loaded. Although a large number of entirely new problems confronted the engineer in attempting to extend cable loading from this field to the more difficult field of long distance work, there appeared to be none incapable of solution from the technical standpoint. The economical phases of the situation were, however, in greater doubt and very careful studies were made to see whether the known possibilities of cable circuit loading could be economically applied to the cases in question. It was also necessary to make elaborate studies to determine the standards of transmission that should be aimed at.

The commercial studies indicated that underground cable circuits provided with Pupin loading coils, could be proved in economically under certain conditions of circuit congestion and a loaded underground cable was projected from New York to Philadelphia, a distance of approximately 90 miles. The work of installing this cable was completed in the latter part of 1905. In addition to manufacturing and installing the cable and loading coils, the work involved the laying of a subway for almost the entire distance between the two cities.

This subway is of standard vitrified tile duct construction with six through ducts and varying numbers of additional ducts to provide for local requirements along the route. The cable installed was of standard size, namely, with an outside diameter of 2-5/8 inches (approximately 6.7 cm.) having a lead-tin alloy sheath 1/8 inch (3.18 mm.) thick. It contains 93 pairs of No. 14 B. & S. and 19 pairs of No. 16 B. & S. conductors and is equipped with toroidal inductance coils at intervals of approximately 1-1/4 miles.

The cable has been in continuous successful commercial operation since the time of its installation, being used to relieve the open wire circuits from New York-Philadelphia terminating business. The No. 16 gauge conductors are used to points intermediate between New York and Philadelphia. Since its introduction, the volume of business between New York and Philadelphia has increased to such an extent that a relief cable is needed in the immediate future, and, as will be noted below, this relief is to be supplied temporarily by circuits in the new

underground cable now being installed between New York and Washington.

The installation of the New York-Philadelphia cable brought about the introduction of new direct current signalling methods of operating long distance telephone circuits and the unqualified success of the cable from all points of view and the experience gained from its installation and working furnished a basis of sound engineering data for the further extension of such cables. This data was very shortly made use of in the installation of a cable approximately 83 miles long from New York to New Haven. This cable contains 37 pairs of No. 13 B. & S. gauge conductors for the entire distance and a varying number of the same and smaller gauge conductors along different portions of the route. A cable from Chicago to Milwaukee, a distance of approximately 90 miles, in which 50 pairs of No. 14 gauge conductors are provided for the entire distance with smaller conductors where needed for long distance business to intermediate points was also installed.

The introduction of underground cable circuits for handling the long distance business between the more important centers of population has served to completely eliminate the factor of weather from such service and at the present time, there are numerous long distance lines wholly in loaded underground or aerial cable and of lengthes varying from 15 to 30 or 40 miles.

New York-Washington Duplex Cable:

Increasing population and consequent increase in demand for commercial telephone service has, in the last few years, greatly extended the limits of the zone within which the use of loaded underground cables is desirable. At the present time the conditions between New York and Washington and between New York and Boston, both distances of approximately 235 miles (378 Km.) are very much the same as were the conditions that existed between New York and Philadelphia prior to the introduction of the first long distance telephone cable. In addition to the congestion feature, the longer distance enhances the difficulty of maintaining continuous service on open wires and in the case of New York-Washington, the fact that the latter is the capital city makes it more than ordinarily important that no break in the means of telephonic communication such as ob-

tained on the day of the last presidential inauguration should occur.

Careful engineering and development work having indicated conclusively the possibility of constructing and loading duplex or phantom cable commercially, it was last year decided to commence the installation of an entirely underground cable route which would ultimately extend from Boston to Washington, a distance of approximately 470 miles, and which, passing through all the important cities along the seaboard, namely, Providence, Hartford, New Haven, New York, Philadelphia, Wilmington and Baltimore, would at all times, insure of uninterrupted long distance telephonic service.

The first field work on this project was done in the summer of 1910 and spring of 1911, and consisted in completing the subway route from New York to Washington. Taking all conditions into account, it was decided to make large use of creosoted wooden conduit. A unique feature of this installation was the development of a special form of concrete manhole or splicing box for connecting the various lengths of cable together and for placing the necessary loading cases. These special manholes have recently been fully described in the technical press (1).

During the present year, it is expected that the subway run between New York and Boston will be completed and that all the cable between Philadelphia and Washington (approximately 140 miles, 225 Km.) will be installed and loaded. At the beginning of 1912 there will therefore be continuous underground cable from New Haven to Washington, a distance of about 315 miles, although the circuits available at that time will not admit of through service. It is expected that the entire equipment between Boston and Washington will be installed and ready for service by 1914. The cable now being installed between Philadelphia and Washington is of standard mechanical dimensions and contains 14 pairs of No. 10 B. & S. gauge conductors arranged to provide 21 telephone circuits, 42 pairs No. 13 B. & S. conductors, arranged to provide 60 telephone circuits, and 18 telephone circuits in No. 16 B. & S. gauge pairs. The total number of telephone circuits within the lead sheath is, therefore, 99, of

(1) *Engineering News*, Vol. 65, No. 21.

which 25 are phantom. All of the circuits will ultimately be equipped with inductance coils and all are suitable for composite or simplex telegraph working. In the design and manufacture of the cable and loading coils, every precaution known to the art has been taken to insure that the final installation will be of the highest electrical and mechanical efficiency. Numerous new ideas have been incorporated during the progress of the work and refinements made in the existing art, so that, when the cable is completed, it will represent by far the greatest advance that has yet been made in the utilization of the loading principle.

Loading and Duplex Cable in General:

In addition to the application of loading and the duplex or phantom principle to open wire long distance circuits, and to the long underground cable toll lines just described, both are used to a very great extent in the general long distance telephone plant.

Almost without exception it is necessary in America to connect open wire toll lines with the long distance switchboard by means of underground or aerial cable, and in numerous instances, it is necessary to insert greater or less lengthes of cable in the middle of aerial circuits. These terminal and intermediate cables vary in length from a few thousand feet in the case of smaller cities to 10 or more miles in the case of large centers of population like New York and Chicago.

To render the phantom possibilities of the open wire lines fully available, it is essential that this cable be of duplex construction in order that proper terminal repeating coils or transformers may be installed in the central offices, and to obtain a maximum transmission efficiency it is essential that the circuits be loaded. Standard practice in America at the present time, therefore, provides for the loading of all such circuits where the length of cable is sufficiently great irrespective of whether the open wires are loaded or not. Consequently, all cable used for carrying open wire long distance circuits is now being manufactured in a form suitable for loading and phantom operation.

In addition to the use of loading as just described full advantage of its economies are also taken in the loading of the

switching trunks which serve to connect the various local offices with the central toll board.

Underlying this work, have been very elaborate engineering studies to determine the proper type of inductance coils and the proper gauge and character of cable to be used under different conditions. In this work the fundamental underlying principle has been to obtain cost equilibrium in all parts of the plant, with the result that in every standard construction and in all special constructions of sufficient magnitude, the loading coils are suitably proportioned to the conductors on which they are installed and the cable conductors, whether loaded or non-loaded, are in proper cost equilibrium with the open wire circuits to which they connect.

Submarine Loading:

A recent advance in the art of constructing long distance telephone lines was the development and successful installation in the spring of 1910 of a loaded submarine cable across Chesapeake Bay. This cable contains 16 loaded circuits and submarine cables of materially larger size are now under consideration. The successful extension of the loading principle to the case of submarine cables containing a large number of pairs has greatly simplified the long distance telephone problem in many locations, and it is expected that very considerable use will be made of it in the near future.

Telephone Amplifiers:

A large number of telephone amplifiers or repeaters are in commercial use on the longer toll lines of the Bell system.

Combined Telephone and Telegraph Operation:

While the Associated Bell Telephone Companies have installed and maintained their long distance lines primarily for telephone service and have done very little commercial message telegraph business, the wires of both the local operating companies and the Long Lines Department of the American Telephone and Telegraph Company are very largely composited or simplexed to provide telegraph facilities which are leased directly to customers who have a large amount of telegraph business between definite points. The entire long distance plant, whether in open

wire, loaded cable or in a combination of these two, has been constructed with a view to this combined operation of the wires.

Although telegraph operation in the past has been confined almost exclusively to manual Morse service, the present intimate relations between the Associated Bell Telephone Companies and the Western Union Telegraph Company which does a general commercial telegraph business, have made it desirable to arrange both the telegraph and telephone plants so as to permit the maximum possible flexibility and availability of each for all classes of service furnished by the other.

In the operation of long distance lines equipped for the simultaneous handling of telegraph messages, no special equipment or methods are provided for the operators and so far as these latter are concerned, the rules under which they work are the same irrespective of whether they are handling straight telephone circuits or circuits that are simplexed or composited. This is accomplished by associating with the composite set a suitable translating device known as a " composite ringer „ operated from the ordinary low frequency ringing key on the switchboard. This ringer impresses a high frequency current on the composited line and this high frequency current which does not interfere with telegraph operation, actuates a special relay at the distant end of the line and causes the latter to impress low frequency ringing current from the local source upon the regular signals at the terminals of the line. When the composite apparatus is removed from the circuit, the composite ringer is disconnected and operation of the ringing key impresses low frequency ringing current directly on the line in the ordinary manner.

Transmission Standards and Their Relation to the Long Distance Plant:

In the planning and constructing of the long distance telephone plant, all circuits are installed on the basis of providing an adequate and definite predetermined grade of commercial transmission at a minimum of cost. In some cases, such, for example, as the provision of a large group of underground cable circuits for terminating business between two centers of population, the transmission standards can be very rigidly fixed.

In other cases, especially where the circuit is likely to form part of a built-up long distance connection, greater liberality must be shown, but in each instance the gauge and character of the copper wires provided is that which seems best suited to the traffic requirements they will be called upon to meet.

This is true not only of that portion of the long distance plant used for connecting long distance switchboards, but also of that portion of the plant used for connecting these long distance switchboards to the local exchange offices. In this latter case, the trunk circuits are designed so that the trunk plant as a whole, is in cost equilibrium with the radiating long distance plant as a whole and the character of the individual trunks takes account of the trunk length and the amount and general destination of the long distance business to be handled. As the local subscribers' circuits are used jointly for local exchange service and for long distance connections, the local and long distance plants must necessarily be considered together from a transmission standpoint if an adequate grade of transmission over the entire plant is to be obtained without excessive outlays. This practice has been consistently followed in building up the complex local and long distance network of the Associated Bell Telephone Companies.

Engineering.

A vital part of the Associated Bell Telephone organization is the large central Engineering Department, under Mr. John J. Carty, maintained in New York. This Department, while not directly responsible for the specific engineering of any particular plant and while distinct from the engineering departments of the associated operating companies, has jurisdictional control over the engineering practices of these companies and is charged with the responsibility of harmonizing the diverse practices that have developed in different sections of the country due principally to the rapid evolution of telephony in its earlier stages and to the varying commercial necessities of more or less widely separated regions. This harmonizing consists in the determination of the most efficient and most economical methods of providing for different phases of the telephone business and the establishment of standard practices based on these deter-

minations. These standard practices underlie all the plant and traffic engineering of the associated companies and by eliminating a great number of diverse equipments and operating methods result in large economies in manufacture and operation as well as in establishing definite transmission and service standards which greatly benefit the character of the service.

An important function of this centralized Engineering Department is the development of all new ideas and methods likely to prove valuable in extending the scope of the telephone industry. This Department employs a large staff of the ablest scientists and engineers that it is possible to secure and all ideas that appear promising, whether presented by persons outside of the telephone industry or arising from the commercial needs of actual practice, are thoroughly investigated and adopted or discarded depending upon whether or not they can be shown to possess commercial value. Connected with and under the control of this Department is a very large Research Laboratory maintained by the Western Electric Company, which is the manufacturing department of the Bell System.

In the matter of long distance telephony, the centralized Engineering Department, with the cooperation of the local field force, is making every effort to extend not only the range of commercial service between large centers of population but also to properly provide for the utilization of this extension within the territory tributary to each such center. In this work one of the principal problems is the devising of ways and means for securing the maximum benefit from the introduction of loading, not only on the long distance lines themselves, but also on the connecting lines and trunks which must be used for reaching the individual subscriber desiring to make a particular long distance call. This work involves the consideration of a great many more or less conflicting elements and has to be proceeded with with caution if the work is to be permanent and not excessively expensive. It involves also the development of new and highly efficient apparatus for operating the lines and the introduction of uniform operating methods at widely separated points.

The problem of how far and in what directions it is economically possible to go in the handling of the combined long distance telephone and general telegraph service on the same

plant is being vigorously attacked in order that full advantage may be taken of the combination.

As was pointed out earlier in the paper, one important objective of the telephone engineer in America, is the provision of a commercial long distance service embracing the entire continent. With the developments now in progress or in contemplation, it seems probable that this result will be accomplished in a relatively short time. Parallel with, and intimately connected to this endeavor to extend the range and scope of long distance telephony, is an equally strong endeavor to develop better and more economical means of handling long distance service within the zone where it is already physically possible to provide a commercial grade of transmission to subscribers.

It is well established and fully recognized that if a universal long distance telephone system embracing the entire North American continent is to be a commercial possibility, the physical plant in all portions of the continent must be extended in accordance with strict engineering rules formulated by a centralized Engineering Department, fully equipped with men and means for thoroughly considering the problem in all of its aspects and of taking advantage of and thoroughly developing all advances in scientific discovery.

RÉSUMÉ

Dans un aperçu général quelconque sur la téléphonie à longue distance, ce sont les questions de commerce, de trafic et de construction qui doivent être considérées plutôt que la question purement technique de transmission de la parole. Ceci est démontré d'une manière concrète dans le cas du circuit interurbain New York-Denver, qui a été récemment ouvert au public, et dans lequel les problèmes principaux à résoudre étaient ceux de commerce et de trafic.

Pendant que la question pure et simple de développement de transmetteurs et de récepteurs d'une grande puissance est relative-

ment facile à résoudre, il est extrêmement difficile et coûteux de faire usage d'appareils semblables pour un grand système commercial, qui est destiné en même temps au service local et à celui de longue distance, et, à moins que les mêmes appareils puissent servir pour les deux genres de service, l'installation téléphonique ne peut être considérée comme bien projetée. Ce point a été apprécié à sa juste valeur par les ingénieurs téléphoniques américains.

Idée sur laquelle le service téléphonique à longue distance est basée.

Le système téléphonique « Bell » entier, comprenant par ce mot les réseaux urbains ainsi que le réseau des circuits interurbains, a été basé sur l'idée fondamentale que le téléphone est un auxiliaire et non un concurrent du télégraphe et de la poste; qu'il occupe une place distincte et définie dans l'économie de communications à établir entre des personnes éloignées, et que son développement devrait marcher de concert avec le service télégraphique. On a constaté depuis longtemps que le service téléphonique est nécessaire principalement là où les abonnés désirent avoir une communication directe et instantanée entre eux, sans l'intermédiaire d'une troisième personne; l'installation et les méthodes d'opération du système des circuits interurbains à longue distance ont été basées sur l'idée de procurer des facilités qui permettraient aux abonnés de faire usage du service autant que possible de la manière décrite ci-dessus.

Développement du système téléphonique « Bell ».

Débutant par un grand nombre de systèmes téléphoniques distincts et locaux, les Compagnies se réunirent et s'épanouirent dans un système dont les lignes forment un réseau presque complet de circuits, s'étendant sur le continent entier de l'Amérique du Nord, et fournissant, dans les limites de la transmission téléphonique actuellement possible d'une façon commerciale, un service universel d'intercommunication. Le service interurbain est conduit de deux manières différentes; le service sur les circuits interurbains, joignant des réseaux téléphoniques qui sont entièrement dans les limites de territoire d'une seule compagnie, est conduit par cette Compagnie, tandis que le service sur les circuits interurbains qui traversent les confins de territoire d'une Compagnie, et joignent des réseaux téléphoniques situés dans

le territoire de deux Compagnies différentes, est conduit par une organisation centrale qui dirige « le service interurbain à longue distance ».

Considérations générales commerciales.

Toutes les additions au système « Bell » de circuits interurbains à longue distance, et des organes qui en dépendent, sont basées sur des études commerciales faites pour déterminer l'étendue et la grandeur de la circulation téléphonique que le commerce exige. Dans ces études on tient compte, autant que possible, de tous les facteurs qui pourraient influencer l'usage du service téléphonique à longue distance, et on vise à préparer une installation suffisante pour l'établissement de communications rapides et directes dont le besoin pourrait se développer en diverses directions. Dans le cas où les circuits interurbains projetés se trouvent dans une région qui jusqu'à présent n'avait pas de service téléphonique, les ressources naturelles non développées de la région sont bien considérées, et une estimation approximative est faite du volume probable et de la nature des diverses industries de l'avenir, et aussi de la direction des routes que le commerce pourrait prendre.

Dans toutes les études commerciales, ainsi que dans celles relatives aux questions de trafic et de construction, le but que l'on vise constamment est d'arriver à un service universel, qui s'étendrait sur tout le continent de l'Amérique du Nord, et fournirait une communication directe entre tous les centres ayant une importance commerciale, et aussi de développer le service téléphonique et télégraphique simultanément et en coopération.

Trafic.

L'étude du trafic commence aussitôt qu'il a été démontré que le commerce a besoin du service interurbain à longue distance entre deux points donnés. Les considérations de trafic déterminent pour la plupart du temps la grandeur et la nature de l'installation nécessaire pour assurer convenablement un certain trafic. Excepté dans le cas de très grandes distances où l'on peut faire usage seulement de circuits aériens en fils de cuivre de grand diamètre pour obtenir une intensité suffisante dans les communications reçues, c'est le service de trafic qui, pour la plupart du temps, détermine si les fils doivent être souterrains ou aériens, et quel genre de

tableaux de distribution doit être employé pour obtenir le résultat nécessaire en ce qui concerne le maniement rapide et économique des communications téléphoniques sur les circuits projetés.

Méthodes pour la manipulation en service.

Deux méthodes principales sont en usage en Amérique pour le service des communications sur les circuits interurbains, à savoir:

a) *le service particulier et individuel;*
b) *le service par numéros.*

Le but de ces deux méthodes est d'établir la communication désirée aussi vite que cela est compatible avec le maintien du service, à un prix qui n'arrêterait pas le public de faire un usage complet du service téléphonique développé dans sa sphère d'utilité propre, comme il a été indiqué ci-dessus.

En général, le service par numéros est plus rapide, et là où il est en usage il coûte généralement moins cher. Développé comme il l'est en Amérique, ce service est une extension logique du service sur des lignes auxiliaires, tel qu'on l'obtient dans le réseau d'une grande ville ayant plusieurs bureaux centraux, au service interurbain entre deux villes à distance moyenne. Il se distingue principalement en ce que sa rapidité est telle que l'abonné reste ordinairement à son appareil à partir du moment où il fait son appel jusqu'à ce que la communication soit établie. En réalité toutes les communications interurbaines, qui sont manipulées par numéros, c'est-à-dire dans un rayon d'à peu près cinquante kilomètres, sont établies en moins d'une minute.

Avec le service par numéros on fait payer à l'abonné chaque fois que la communication demandée est obtenue, sans se soucier de celui qui répond à l'appel. Au delà des limites extérieures de la zone d'appel par numéros, et là où la taxe à payer pour la communication est assez élevée pour arrêter l'abonné de faire usage du service, par crainte de manquer la personne avec laquelle il désire se mettre en communication, on a l'habitude de lui donner le choix entre l'appel personnel et celui fait par numéros; seulement en choisissant le service individuel on doit payer plus cher que pour le service par numéros.

Le service par numéros.

Les appels par numéros sont complétés directement par l'opératrice « A » (le terme « A » indiquant l'opératrice qui répond la première à l'appel de l'abonné) partout où le volume du trafic sur les circuits interurbains est assez grand pour justifier l'établissement de « lignes auxiliaires » directes, et par une opératrice spéciale (l'opératrice « tandem ») en cas où le volume du trafic n'est pas suffisamment grand pour justifier des lignes auxiliaires directes, mais suffisamment important pour justifier des lignes auxiliaires directes entre le bureau central le plus important d'un réseau local et tous les autres bureaux centraux du même réseau. Quand le volume du trafic interurbain entre deux réseaux donnés est relativement petit, on a recours au mode d'opération appelé « méthode interurbaine » qui est celle où l'on fait usage de l'appel électromagnétique (ringdown). Dans les deux premiers cas l'opératrice « A » enregistre l'appel en mettant sur un billet le numéro désiré et le numéro téléphonique de la personne faisant l'appel, et la durée de la conversation. Quand on fait usage de la « méthode interurbaine » l'enregistrement se fait par l'opératrice « interurbaine et enregistrice » qui établit la communication et la surveille, l'opératrice « A » se bornant seulement à la seule fonction de mettre en communication la personne faisant l'appel à l'opératrice « interurbaine et enregistrice ».

Service personnel et individuel.

La plus grande partie du trafic interurbain à longue distance au delà d'un rayon de cinquante kilomètres est maniée sur la base du « service personnel » et non « par numéro », c'est-à-dire, un service dans lequel l'abonné faisant l'appel n'a pas à payer lorsque la personne amenée au téléphone n'est pas la personne désirée. Les modes d'opération pour ce genre varient suivant les cas. La plupart du temps, l'opération n'exige qu'un seul billet d'enregistrement. La responsabilité entière de l'opération est confiée à une seule opératrice — l'opératrice interurbaine du réseau de l'appel originaire. Dans ce cas, applicable seulement quand l'opératrice interurbaine du premier réseau peut se mettre en communication directe et facile avec l'abonné du second réseau, la facilité avec laquelle elle peut soutenir la conversation avec la personne désirée

est un point essentiel dans le choix de cette méthode. Une opératrice spéciale, mise en communication avec la personne faisant l'appel, enregistre tous les détails nécessaires et envoie ce billet à l'opératrice « interurbaine », qui établit la communication avec la personne désirée du réseau lointain par l'entremise de l'opératrice « interurbaine » de ce réseau. L'opératrice « interurbaine » du premier réseau marque la durée de la conversation; elle est autrement chargée de la responsabilité de surveiller la communication. Afin d'obtenir les enregistrements propres qu'exige le service de la comptabilité, il est d'usage d'employer en conjonction avec cette méthode « à billet unique » des observateurs ou observatrices de service. Ces observateurs sont chargés de dresser un rapport complet et détaillé sur un certain nombre d'appels. Ce rapport sert de base pour vérifier l'honnêteté et l'exactitude de l'information contenue sur les billets portant le détail de l'appel interurbain. Lorsque les conditions de transmission sont telles qu'il serait malaisé pour l'opératrice du réseau originaire d'entrer en communication avec la personne désirée du réseau lointain, la méthode « de double billet » est en vogue. Dans cette méthode l'opératrice « interurbaine » du premier réseau qui a reçu l'information nécessaire communique celle-ci à l'opératrice du réseau lointain et attend un rapport. L'opératrice du second réseau communique avec la personne désirée et, ensemble avec l'opératrice du premier réseau, établit la communication.

Les méthodes d'opération où le télégraphe Morse joue une part sont peu en usage. Dans ces méthodes toutes les communications entre les opératrices « interurbaines » sont faites au moyen du télégraphe.

Modèle du service et stimulation du labeur des opérateurs.

Un parfait usage est fait du principe, bien connu dans les ateliers, que la plus grande compétence s'obtient dans un service compliqué, lorsque chaque part de ce service est faite par une opératrice ou par un groupe d'opérateurs qui exécutent les mêmes opérations à plusieurs reprises. Basés sur ce principe, les travaux des opératrices sont séparés autant que possible et chaque espèce d'opération est exécutée par un groupe différent de jeunes filles qui manient seulement une seule classe de service. Des modèles d'opération sont établis

dans chaque classe d'opération qui tiennent compte de tous les facteurs relatifs au travail, et les opérateurs sont stimulés à faire les plus grands efforts par les comparaisons qu'on peut par là établir entre eux.

Opération commune.

Service Interurbain et Service Local.

Avec l'emploi généralisé de câbles téléphoniques munis de bobines Pupin, et l'introduction des méthodes d'opération modèles, la nécessité qui existait autrefois pour des tableaux de distribution « interurbain » et des tableaux de distribution ou multiples affectés au service téléphonique local n'a plus raison d'être. La tendance actuelle est de réunir et concentrer toutes les opérations nécessaires au service interurbain à longue distance en un seul tableau de distribution.

Technique du Trafic.

La technique du trafic interurbain est une partie vitale de l'organisation du service téléphonique à longue distance. Ce travail comprend la préparation des « plans fondamentaux interurbains » qui ont pour but la détermination du nombre et de la situation des « tableaux de distribution interurbaine », de la direction exacte à donner aux circuits interurbains, de la nature et du diamètre des conducteurs de ces circuits.

Installation du Système.

La longueur totale des fils métalliques employés pour les circuits interurbains de longue distance est d'environ trois millions et un quart de kilomètres. Ce chiffre ne comprend pas le métal employé pour les circuits qui unissent les bureaux centraux d'un réseau avec le « tableau de distribution interurbain » qui est situé naturellement au point central du réseau. Ce chiffre ne comprend pas non plus les conducteurs, d'une longueur totale approximative de quinze millions de kilomètres, employés soit pour « les lignes auxiliaires » d'un même réseau local, soit pour les lignes des abonnés. Il y a à peu

près 270.000 kilomètres de lignes aériennes en usage pour le service interurbain, et 20 pour cent environ des trois millions et un quart de kilomètres des conducteurs interurbains sont en câbles principalement souterrains.

La longueur moyenne d'une communication interurbaine sur les circuits de l'« American Telephone and Telegraph Co. » est d'environ 300 kilomètres, la longueur de la communication variant entre 20 kilomètres et 3300 kilomètres dans le cas d'une communication entre New York et Denver.

Caractères de l'Installation du réseau interurbain.

Les circuits interurbains font usage de fils de cuivre dur, les dimensions des conducteurs employés variant depuis le N. 14 N. B. S. G. (64 livres par kilomètre) jusqu'au N. 8 B. W. G. (270 livres par kilomètre). Les conducteurs employés le plus généralement sont désignés par le N. 12 N. B. S. G. et pèsent environ 110 livres par kilomètre.

Beaucoup de circuits en fils aériens sont des circuits " combinés ", c'est-à-dire arrangés de manière à obtenir trois circuits de conversation avec quatre fils, et un grand nombre de circuits en fils aériens ainsi que de circuits en câbles aériens et souterrains sont munis de bobines Pupin. L'usage des circuits combinés et des circuits « pupinisés » s'étend rapidement, et il n'est pas douteux que dans un espace court de temps tous les circuits interurbains employés pour le service à grande distance seront des circuits « combinés » et « pupinisés » en même temps.

Lignes aériennes.

Les lignes aériennes de longue distance suivent ordinairement les routes publiques, et les compagnies de service téléphonique local et l'organisation centrale du service téléphonique à longue distance s'en servent en commun. A présent on les construit de façon à pouvoir porter des circuits téléphoniques et télégraphiques.

On fait presque exclusivement usage de poteaux en bois, bien qu'on essaie maintenant des poteaux en béton. La nature du bois employé varie dans les différentes parties du pays, mais ce sont pour la plupart des bois de cèdre, de marronnier, de pin et de sapin

que l'on emploie. Comme le prix du bois augmente, on examine maintenant soigneusement la question de renforcer les extrémités inférieures des poteaux là où elles se sont affaiblies à la ligne du sol.

Arrangement et permutation des fils.

Les circuits consistent en fils adjacents placés horizontalement sur des traverses, la traverse normale étant d'une longueur de dix pieds et portant dix fils. Les circuits sont permutés de manière à éliminer l'induction mutuelle entre ces circuits et l'induction due à des sources étrangères, en variant les positions relatives des fils sur la même traverse. Des circuits « combinés » sont formés, en associant quatre fils consécutifs disposés horizontalement, qui sont proprement permutés. Une exception à la règle de permutation existe dans le cas où le « circuit combiné » est formé de circuits voisins qui sont disposés verticalement.

Emploi de bobines Pupin sur les circuits aériens.

L'emploi des bobines Pupin a déjà été appliqué à environ 136.000 kilomètres de circuits aériens, et les difficultés que l'on rencontrait au commencement, de construire, d'installer et de maintenir les bobines de Pupin, ont été si bien surmontées que l'entretien de ces bobines ne coûte pas beaucoup plus cher que le maintien de circuits non munis de bobines. La « pupinisation » se répand aussi rapidement qu'il est possible de mettre les lignes existantes en bon état. La « pupinisation » des circuits « combinés » et l'usage de circuits « combinés » et munis de bobines Pupin en même temps se sont établis comme pratique courante. Les circuits interurbains à très longue distance sont les premiers à être mis en usage de la manière décrite ci-dessus.

Circuits interurbains à longue distance en câbles.

Les circuits interurbains à longue distance entièrement en câbles souterrains sont en usage général sur une étendue d'environ 145 kilomètres et lorsque le travail, déjà bien avancé, aura été achevé, on aura un service souterrain entre New York et Washington et entre New York et Boston, dont les distances sont d'environ 380



kilomètres. Tous les câbles à longue distance, actuellement en train d'être installés, sont construits pour permettre l'opération de circuits « combinés » et sont munis de bobines d'induction conformément au système de Pupin.

Des bobines de Pupin sont aussi installées sur tous les câbles dont on a besoin pour l'entrée en ville d'un réseau de circuits aériens interurbains, chaque fois que le câble est d'une longueur suffisante.

Amplificateurs Téléphoniques.

Un grand nombre d'amplificateurs (relais) téléphoniques sont en usage courant sur les circuits interurbains à longue distance appartenant au système « Bell ».

Opération téléphonique et télégraphique combinée.

Toutes les lignes téléphoniques à longue distance de l' « American Telephone and Telegraph Company » et un grand nombre de lignes des compagnies locales sont construites pour l'opération combinée du télégraphe, et toutes les additions qui sont faites maintenant à une partie quelconque du réseau « Bell » entier, sont basées sur la nécessité de donner un service téléphonique et télégraphique combiné.

Technique.

Une partie vitale et intégrale dans le système téléphonique Bell est le maintien à New York d'un service technique sous la direction de Mr. John J. Carty. A ce service incombe la responsabilité d'étendre le rayon du service téléphonique commercial, de développer les idées nouvelles qui paraîtraient posséder des possibilités commerciales, et de déterminer l'adoption de pratiques et de méthodes modèles dans tout le système.

SULLA TELEFONIA A GRANDE DISTANZA

Rapporto sul Tema N. 23 del Congresso.

Relatore Prof. GIOVANNI DI PIRRO (Roma).

Introduzione.

Scopo modesto di questa mia relazione si è quello di riassumere brevemente gli studî che negli ultimi anni sono stati compiuti in Europa per la risoluzione dei problemi tecnici concernenti la telefonia a distanza.

Resosi sempre più impellente il bisogno di corrispondere fra città anche lontane, l'attività svolta in questo campo ha sovratutto mirato ad aumentare la portata di trasmissione dei circuiti telefonici. Non sembra abbiano sinora a ciò contribuito le ricerche tendenti ad aumentare la potenza dell'apparecchio trasmittente. Microfoni ultrapotenti sono stati bensì recentemente costruiti, ma essi non sono stati ancora introdotti nella pratica e non si sa bene come in servizio si comportino. La maggior parte degli studi ha invece mirato a perfezionare il mezzo che congiunge l'apparato trasmittente al ricevente, ha mirato cioè a perfezionare il conduttore.

Per raggiungere un tale intento è stato necessario esaminare più davvicino i fenomeni relativi alla propagazione della corrente nei fili: fenomeni dei quali, per la intelligenza di quanto sarà detto in seguito, è opportuno dare un breve cenno.

Cenni sulla propagazione della corrente nei fili.

Le teorie della propagazione della corrente nei fili sono state principalmente svolte da Heaviside negli " Electrical Papers "

e nella " Electromagnetic Theory „. Le sue equazioni ci permettono di conoscere in ogni istante durante il periodo di regime (per le esigenze della pratica non è apparso indispensabile lo studio del periodo variabile) il voltaggio e la corrente in un punto qualsiasi del filo, allorchè ad una delle sue estremità è applicato un generatore di conosciuta impedenza producente una f. e. m. alternata sinusoidale ed all'altra estremità un apparecchio di utilizzazione pur esso di conosciuta impedenza.

È noto allora come il potenziale e la corrente in un punto risultino ciascuno uguali alla somma di due grandezze vettoriali, le cui ampiezze vanno attenuandosi con legge esponenziale l'una dall'origine verso il termine della linea, l'altra dal termine verso l'origine; e le cui fasi variano linearmente col tempo e con la distanza del punto considerato dall'origine stessa.

Si sa che i due addendi della somma corrispondono il primo all'onda *trasmessa* dall'apparecchio generatore, il secondo alla onda *riflessa* dall'apparecchio ricevitore.

Il potenziale e la corrente dipendono naturalmente, oltre che dalla f. e. m. impressa, dalle costanti della linea (resistenza, induttanza, conduttanza, capacità), e da quelle degli apparecchi.

È sommamente interessante rendersi conto della funzione che la linea esercita nella trasmissione. A ciò prestasi lo studio di un caso particolare, quello cioè di una linea infinitamente lunga di cui una estremità sia lasciata a circuito aperto e l'altra connessa all'apparecchio generatore supposto di trascurabile impedenza.

In tal modo si impedisce la produzione dell'onda riflessa e si elimina la complicazione derivante dalle costanti degli apparecchi.

L'ampiezza I_x della corrente in un punto qualsiasi x è data allora dalla equazione semplice

$$I_x = \frac{E_o}{|z_o|\, e^{\beta x}}$$

dove E_o è l'ampiezza della f. e. m. impressa, β la costante di smorzamento, $|z_o|$ è il rapporto fra l'ampiezza della f. e. m. e quella della corrente, all'origine della linea, e rappresenta perciò la impedenza all'origine della linea medesima.

Le grandezze z_o e β dipendono dalle costanti chilometriche della linea: resistenza R, induttanza L, capacità C, condut-

tanza K, e sono precisamente $|z_0|$ il modulo della quantità complessa

$$z_0 = \frac{R + ipL}{K + ipC}$$

che vien chiamata *caratteristica della linea*; β la parte reale della quantità complessa

$$\beta + i\alpha = (R + ipL)\,(K + ipC)\ (^1)$$

dove α è legata alla lunghezza d'onda dalla relazione

$$\text{lunghezza d'onda} = \frac{2\pi}{\alpha}$$

ed è perciò chiamata la costante della lunghezza d'onda.

I simboli p ed i rappresentano la pulsazione e l'unità immaginaria.

Si comprende come nelle trasmissioni telefoniche si abbia interesse a che la corrente nei punti lontani sia sufficientemente intensa in modo da permettere il funzionamento dell'apparecchio ricevitore. Ora dalla espressione della intensità della corrente si scorge che essa per un dato valore di x è tanto più grande quanto più piccoli sono $|z_0|$ e β, ossia quanto più piccoli sono il modulo della caratteristica e la costante di smorzamento. Le espressioni di z_0 e di β mostrano che l'una e l'altra diminuiscono col diminuire della resistenza; vi ha dunque sempre vantaggio a diminuire questa costante. Diminuendo invece la conduttanza e la capacità diminuisce la costante di smorzamento, ma cresce la caratteristica: capacità e conduttanza hanno quindi funzioni antagoniste nelle due qualità considerate. Questa proprietà è analoga a quella di un circuito costituito da sole resistenze e

---

(1) Da questa formula si deduce per β il valore dato dalla relazione

$$2\beta^2 = \sqrt{(R^2 + p^2 L^2)(K^2 + p^2 C^2)} + (KR - p^2 LC)$$

dalla quale rilevasi che β cresce con la frequenza ed assume il suo valore massimo per p infinito, nel qual caso si ha

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{K}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

che possieda un arco multiplo. La resistenza complessiva del circuito diminuisce e la corrente aumenta nel circuito principale; ma le correnti nei rami dell'arco tanto più diminuiscono quanto maggiore è il numero di essi. Allo stesso modo se la conduttanza e la capacità della linea aumentano, aumenta del pari la intensità della corrente al principio, ma contemporaneamente diminuisce nei punti lontani.

Quanto alla induttanza è da osservare che un aumento di essa si traduce in un *aumento* della caratteristica ed in una *diminuzione* della costante di smorzamento.

La proprietà ordinaria della induttanza, quella cioè di ostruire il passaggio della corrente, si manifesta con un aumento della caratteristica, mentre l'altra di ostacolare la dissipazione dell'energia si manifesta con una diminuzione della costante di smorzamento.

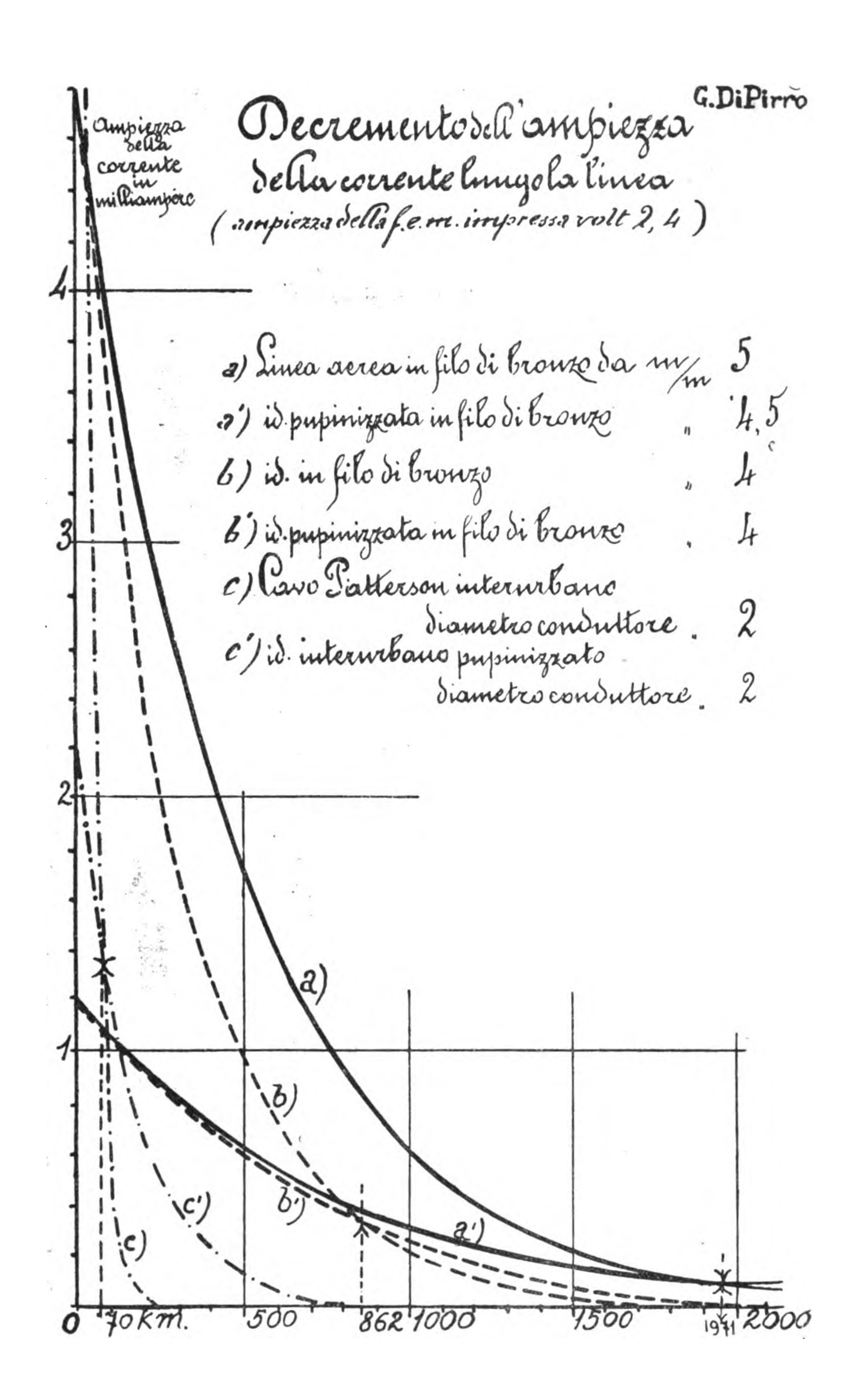
In definitiva la costante di smorzamento diminuisce col diminuire della resistenza, della capacità e della conduttanza e con l'aumentare della induttanza, mentre la caratteristica diminuisce col diminuire della resistenza, con l'aumentare della capacità e della conduttanza, e col diminuire dell'induttanza.

Le curve della Fig. 1 mostrano chiaramente l'andamento del fenomeno.

Le ordinate nei diversi punti di esse rappresentano le ampiezze delle intensità delle correnti in milliampère corrispondenti ad una f. e. m. impressa di ampiezza uguale a volt 2,4 prodotta da un generatore di impedenza trascurabile ed applicato alla origine della linea, di cui l'estremità lontana è a circuito aperto; mentre le ascisse rappresentano le distanze in chilometri.

Le costanti di smorzamento e le caratteristiche delle linee considerate sono le seguenti:

Natura della linea			Modulo della caratteristica	Costante di smorzamento
Linea aerea in filo di bronzo di mm. 5		*a*)	497	0,0021
" " " 4,5	(pupinizzata)	*a'*)	2000	0,0014
" " " 4		*b*)	500	0,0032
" " " 4	(pupinizzata)	*b'*)	2000	0,0016
Cavo Patterson con condotture di " 2		*c*)	240	0,028
" " " 2	(pupinizzata)	*c'*)	1100	0,006


G. Di Pirro
Decremento dell'ampiezza della corrente lungo la linea
(ampiezza della f.e.m. impressa volt 2,4)
ampiezza della corrente in milliampère
a) Linea aerea in filo di bronzo da m/m 5
a') id. pupinizzata in filo di bronzo " 4,5
b) id. in filo di bronzo " 4
b') id. pupinizzata in filo di bronzo " 4
c) Cavo Patterson interurbano diametro conduttore " 2
c') id. interurbano pupinizzato diametro conduttore " 2
1
2
3
4
0
70 Km.
500
862
1000
1500
1971
2000
a)
a')
b)
b')
c)
c')

Come rilevasi dalle curve tracciate, la intensità della corrente è grande all'origine nei circuiti aventi rilevante capacità (caso dei cavi, curva *c*), ma essa diminuisce rapidamente con la distanza. La intensità all'origine ed altresì lo smorzamento diminuiscono se i cavi si immaginano dotati d'induttanza (curva *c'*). Le curve *a* ed *a'*; *b* e *b'* si riferiscono a linee in filo di bronzo ordinarie o dotate d'induttanza (linee pupinizzate di cui si parlerà in seguito).

Esaminata la funzione della caratteristica e della costante di smorzamento, è opportuno notare che il valore della intensità della corrente nei punti lontani dipende più dalla grandezza della seconda che da quella della prima, e che perciò, se si vuole che tale valore sia grande, giova molto rendere la costante di smorzamento più piccola che sia possibile. È da notare che non sempre la costante di smorzamento diminuisce con l'aumentare della induttanza e col diminuire della capacità, giacchè alle volte può accadere l'inverso: ciò dipende dalla grandezza relativa della resistenza e della conduttanza. Tuttavia nei casi ordinarî la induttanza e la capacità si comportano nel modo indicato.

È opportuno poi osservare che in telefonia l'apparecchio trasmittente produce correnti alternate di diversa frequenza, ad ognuna delle quali corrisponde un valore differente della caratteristica e della costante di smorzamento. Le diverse componenti della corrente vengono quindi ridotte ed attenuate in modo differente, e perciò la corrente iniziale, oltre che diminuire, si deforma lungo la linea. La deformazione dipende anch'essa principalmente, come la riduzione della corrente, dalla costante di smorzamento, la quale quindi deve soddisfare ai due requisiti, di essere piccola ed indipendente dalla frequenza, qualora si voglia raggiungere l'intento di ottenere alla fine della linea una corrente sufficientemente intensa e della stessa forma della iniziale.

Se ora, invece che lasciata a circuito aperto, si suppone la linea chiusa attraverso un ricevitore telefonico, e si fa astrazione dalle riflessioni che, d'altra parte, hanno, specialmente nelle lunghe linee, minore importanza dei fenomeni già illustrati, si comprende come la voce trasmessa per mezzo del microfono possa giungere al corrispondente *ridotta* e *deformata.*

A causa della linea adunque si ha riduzione del *volume* della voce (*attenuazione*) ed alterazione del suo *carattere* (*distorsione*).

Anche la distorsione dipende dalle costanti della linea: essa, nel caso, che ordinariamente si verifica, in cui la costante di tempo elettromagnetica $\frac{L}{R}$ è minore di una delle costanti di tempo elettrostatiche $\frac{C}{K}$, diminuisce con l'aumentare della conduttanza e della induttanza e col diminuire della resistenza e della capacità. Mentre le ultime tre costanti si comportano allo stesso modo rispetto all'attenuazione ed alla distorsione, la prima, la conduttanza (reciproca dell'isolamento), esercita una funzione diversa, talchè una diminuzione dell'isolamento mentre aumenta l'attenuazione diminuisce la distorsione. Diversa sarebbe rispetto a questa la funzione delle costanti della linea, ove si supponesse che la costante di tempo elettromagnetica fosse maggiore anzichè minore della costante di tempo elettrostatica considerata.

Non è del resto il caso d'insistere su questo argomento, giacchè la distorsione non si manifesta praticamente in modo da ostacolare la corrispondenza allorquando l'attenuazione è sufficientemente piccola. Basterà quindi che le costanti della linea siano tali da rendere piccola la costante di smorzamento, per il che, è bene ripeterlo, si richiedono nei casi ordinarî *piccola resistenza, piccola capacità, piccola conduttanza* (*grande isolamento*), *grande induttanza.*

Dei conduttori impiegati nella pratica, prima dell'ultimo decennio, quelli che più si prestano alla corrispondenza telefonica sono i fili aerei in rame od in bronzo. Le linee aeree in rame od in bronzo hanno infatti piccola resistenza, piccola capacità (dell'ordine di un centesimo di microfarad per Km. di coppia), non trascurabile induttanza (circa 2 millihenry per Km. di coppia), elevato isolamento, quando il tempo è asciutto.

Male si prestano alla corrispondenza telefonica i cavi, a causa della elevata resistenza, della elevata capacità e della piccola induttanza (dell'ordine di 1/2 millihenry per Km. di coppia). Con la introduzione dei cavi Patterson isolati in carta ed aria la capacità fu notevolmente ridotta, ma non in misura sufficiente da permettere la telefonia a grande distanza. Meglio i conduttori si comporterebbero se essi fossero dotati di maggiore induttanza. Si è perciò che l'attività dei tecnici è stata rivolta ad aumentare artificialmente la induttanza dei conduttori ordinarî.

Linee aeree e cavi Pupin.

Spetta al Pupin il merito di avere trovato il modo di dotare d'induttanza le linee aeree ed i cavi mediante inserzione di rocchetti in punti opportuni dei conduttori.

È noto come la inclusione arbitraria di rocchetti in una linea, anzichè giovare, possa riuscire nociva a causa delle riflessioni che possono prodursi, e come il Pupin abbia formulata una legge di distribuzione dei rocchetti, in base alla quale la linea non uniforme così ottenuta si comporta come una linea avente le stesse totali costanti, ma uniformemente distribuite (linea uniforme corrispondente).

La legge del Pupin stabilisce che la linea non uniforme si comporta come la uniforme corrispondente allorchè il numero *m* delle bobine per lunghezza d'onda (calcolata per la più alta frequenza della parola) è tale che il seno di $\frac{\pi}{m}$ sia prossimamente uguale a $\frac{\pi}{m}$. E la differenza fra gli elementi della trasmissione dell'uno e dell'altro circuito (costante della lunghezza di onda e costante di smorzamento) è tanto più piccola quanto più stretta è l'approssimazione del seno all'arco.

Se le bobine incluse sono 8 per lunghezza d'onda, l'approssimazione è dell'1 %, se 5 del 7 %, se 4 del 16 %, se 3 del 200 %.

La introduzione nella pratica dei conduttori pupinizzati nel continente di Europa è stata fatta dalla Casa Siemens, alla quale si devono interessanti studî teorici e pratici sull'argomento. Nulladimeno non si può dire che in Europa essi siano stati largamente impiegati.

Gioverà ad ogni modo accennare sommariamente alle linee aeree ed ai cavi sotterranei e sottomarini Pupin sinora posati.

Linee aeree Pupin. — Le linee principali sinora costruite sono la Berlino-Frankfurt/Main in Germania (km. 580 in filo di bronzo di mm. 2,5); la Vienna-Innsbruck (km. 549 in filo di bronzo di mm. 3); la Vienna-Lemberg (km. 774 in filo di bronzo di mm. 4).

Vennero da principio impiegate per tali linee bobine separate per ciascuno dei fili. Esse erano collocate sopra appositi isolatori,

e protette da parafulmini a vuoto montati in parallelo con le bobine stesse. Si ebbero però a verificare inconvenienti di natura meccanica ed elettrica. Quelli di natura meccanica dipendevano dalle frequenti rotture degli isolatori di sostegno delle bobine, dovute sia a variazioni atmosferiche che a cause dolose; quelli di natura elettrica dipendevano dalla circostanza che la linea pupinizzata era più soggetta di quella ordinaria ai disturbi causati dalle correnti vicine, comprese le telegrafiche.

Ciò sembrava specialmente dovuto a dissimmetrie che si manifestavano nelle bobine dopo che erano state messe in opera. Tali dissimmetrie furono spiegate con la ipotesi che le scariche atmosferiche fossero diverse per il filo di andata e di ritorno del circuito e che perciò magnetizzassero i nuclei in modo differente.

Dopo ciò la Siemens ha costruito bobine a doppio avvolgimento con unico nucleo di ferro: i due avvolgimenti si inseriscono rispettivamente sui due fili del circuito. È stato constatato che, se le costanti dei due avvolgimenti sono eguali, esse rimangono tali anche quando il nucleo subisce una magnetizzazione per effetto di una corrente circolante in uno solo degli avvolgimenti.

Le bobine così costruite sono collocate entro cassette metalliche e convenientemente isolate: due scaricatori a vuoto sono disposti in parallelo sui due avvolgimenti: il tutto è fissato ad apposito sostegno in ferro.

Nelle due linee posate in Austria le bobine semplici sono state sostituite da quelle a doppio avvolgimento, e si è osservata una considerevole riduzione delle perturbazioni.

Nella linea Berlino-Francoforte, per quanto l'equipaggiamento sia stato rinnovato due volte, le due bobine sono separate per ciascuno dei fili: queste hanno una resistenza effettiva di 5 Ohm, una induttanza di 0,105 Henry e sono collocate alla distanza di 5 km.

Se si assume per la resistenza della linea di 2,5 mm. quella misurata di Ohm 7,70 per km. di doppio filo, e per l'induttanza e la capacità mutua quelle calcolate di 2,14 millihenry e di 0,0055 microfarad per km., si ottiene per la linea pupinizzata una resistenza di Ohm 9,7, una induttanza di 0,40 millihenry per km. di doppio filo, e quindi, allorquando lo isolamento è perfetto, una costante di smorzamento di 0,00193 per km. quasi uguale a quello di una linea in filo di bronzo di 5 mm. La ca-

ratteristica (chiamerò caratteristica tanto z_0 quanto il suo modulo) sarebbe uguale a 2500 Ohm circa.

In Germania si sogliono ora costruire le linee aeree Pupin in guisa che la caratteristica sia uguale a 2000 Ohm.

Quanto alla distanza s fra i rocchetti, si ritiene essa possa praticamente determinarsi in base alla relazione

$$10000 \sqrt{CL}\, s = 1$$

mentre in America si suole fissare in modo che si abbia:

$$7000 \sqrt{CL}\, s = 1.$$

La distanza delle bobine sulle linee aeree risulta, in base alla prima relazione, di circa 10 km. Tale è appunto la distanza fra le bobine della linea Vienna-Lemberg.

Merita di essere a questo proposito notato quanto è risultato sperimentalmente agli Ingegneri del " Post Office „ e cioè che si possa avere una sufficiente approssimazione fra il conduttore non uniforme e quello uniforme corrispondente, inserendo π bobine per ogni lunghezza d'onda calcolata per una frequenza 2000. Sul soggetto in discussione hanno pubblicato interessanti lavori il prof. Breissig ed il prof. Plejiel (1), i quali hanno messo in evidenza come varî l'articolazione della parola nei conduttori Pupin.

Una difficoltà di non lieve importanza si incontra nella pupinizzazione delle linee aeree a causa dell'isolamento.

Nei conduttori ad alta induttanza un difetto di isolamento è più nocivo che non in quelli a bassa induttanza. Ciò si comprende facilmente quando si pensi che le correnti alternate possono trovare maggiore ostruzione nella impedenza del conduttore che non nelle derivazioni generalmente antiinduttive.

È noto d'altra parte come, per dati valori della resistenza, della capacità, della conduttanza, esista un valore dell'induttanza a cui corrisponde il valore minimo della costante di smorzamento.

Se si pupinizza una linea in base ad un certo valore dello

---

(1) Atti della seconda Conferenza internazionale dei tecnici delle Amministrazioni dei Telegrafi e dei Telefoni di Europa (Parigi, 1910).



isolamento, la sua costante di smorzamento diminuirà se l'isolamento aumenta, aumenterà se l'isolamento diminuisce.

Se p. es. consideriamo una linea aerea di caratteristica 2000, la sua costante massima di smorzamento si può mettere sotto la forma $\beta = 10^{-3}\left(\frac{R}{4} + K_1\right)$, dove R è la resistenza kilometrica della linea pupinizzata, K_1 la reciproca dello isolamento espresso jn Megohm.

Se la linea è di mm. 4,5 ed ha una resistenza di 3,50 Ohm per km. di doppio filo (rocchetti compresi), allora

β = 0,0087 per $K_1 = 0$ (isolamento perfetto)
= 0,0097 $K_1 = {}^1/_{10}$ (isolamento 10 Megohm)
= 0,00137 $K_1 = {}^1/_2$ (isolamento 2 Megohm)
= 0,00197 $K_1 = 1$ (isolamento 1 Megohm)
= 0,01087 $K_1 = 10$ (isolamento ${}^1/_{10}$ di Megohm)

Nell'ultimo caso la linea di mm. 4,5 si comporterebbe allo incirca come una linea di mm. 2. Generalmente la pupinizzazione si suole fare in base ad un isolamento di 2 Megohm; ma non è difficile che alcune volte l'isolamento possa scendere anche al disotto di 1 Megohm. Ha perciò l'isolamento una particolare importanza nelle linee aeree, e deve essere quindi curato in modo speciale se si vuole realizzare la telefonia a grandissima distanza.

Nelle linee Pupin, costruite con filo di minor diametro, il secondo termine della formula considerata ha minore importanza rispetto al primo, e perciò la costante di smorzamento non varia eccessivamente col variare dell'isolamento.

Coi tipi di rocchetti sin qui costruiti si può ritenere che una linea Pupin di mm. 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 equivalga ad una linea ordinaria di circa mm. 4; 4,5; 5; 5,5; 6 rispettivamente, supposto che l'isolamento sia di due Megohm.

CAVI PUPIN. — La inserzione delle bobine Pupin nei cavi sotterranei non presenta alcuna difficoltà. Le bobine sono disposte in una cassetta in ghisa, e tutte le loro estremità sono portate ad un manicotto di giunzione ed incluse nei conduttori del cavo.

Sembrava non dovessero esistere limiti nella intensità della pupinizzazione dei cavi, sembrava cioè che un aumento della

induttanza dovesse sempre valere a diminuire la costante di smorzamento. Un limite poteva trovarsi bensì nel necessario aumento della resistenza introdotta dai rocchetti e nella caratteristica che, in conseguenza dell'induttanza, sarebbe aumentata; ma non si pensava che, come per le linee aeree, anche per i cavi di data resistenza e capacità potesse esistere un valore massimo dell'induttanza, oltre il quale un aumento di questa anzichè benefico sarebbe riuscito nocivo.

La possibilità relativa all'aumento della induttanza nei conduttori del cavo fondavasi sulla proprietà che questi hanno di avere un isolamento elevatissimo. Se infatti l'isolamento fosse alto, nessuna perdita si avrebbe nel dielettrico, ed il fenomeno della propagazione sarebbe governato quasi esclusivamente dalla resistenza, capacità ed induttanza.

Essendo allora nulla la conduttanza, la formula che dà la costante massima di smorzamento

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{K}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

si ridurrebbe a

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

da cui si scorge che un aumento della induttanza sarebbe sempre vantaggioso.

Però negli ultimi anni alcuni sperimentatori, primo fra essi il sig. Bela-Gati, hanno constatato che l'isolamento per correnti alternate è molto inferiore a quello per correnti continue. Mentre infatti il secondo è dell'ordine delle migliaia di Megohm, il primo scende al disotto di un Megohm.

Per i cavi telefonici Patterson isolati in carta ed aria il Bela-Gati trovava $^1/_{10}$ di Megohm, il Breissig $^1/_3$ di Megohm, mentre il Dr. Ebeling della Casa Siemens trovava circa 2 Megohm.

A valori così bassi dell'isolamento (elevati della conduttanza) corrispondono valori bassi dell'induttanza, i quali non possono superare quelli dati dalla formula semplice

$$L = R\,\frac{C}{K}$$

a cui corrisponde la minima costante di smorzamento.

Da questa espressione si deduce pure che una pupinizzazione intensa si può ottenere allorquando i conduttori sono sottili, e

che con l'aumentare del diametro dei conduttori la pupinizzazione deve diventare necessariamente meno efficace.

È da prendere tuttavia nota di quanto nel Congresso tenutosi a Parigi l'anno decorso fra gli Ingegneri telegrafici e telefonici affermò il Dr. Ebeling, e cioè che la Casa Siemens è in grado di costruire cavi con conduttori di 3 mm. coi quali è possibile corrispondere ad una distanza di 1000 kilometri.

L'argomento è di grande interesse per il servizio telefonico interurbano fra centri che hanno grande traffico. In Germania ed in Inghilterra si hanno già esempi di impianti del genere.

Cavi sottomarini Pupin. — Le difficoltà che si debbono superare per la inserzione dei rocchetti nei cavi sottomarini sono specialmente di natura meccanica.

Un primo cavo sottomarino Pupin della lunghezza di circa 16 kilometri è stato posato nel lago di Costanza. Il cavo è a 7 coppie di fili con isolamento in carta ed aria, ed è protetto da tubo di piombo. Per impedire la compressione delle coppie, queste sono circondate da una spirale di filo di acciaio collocato al disotto del tubo. I rocchetti sono collocati come anelli intorno al cavo in alcuni suoi punti, e poi ricoperti con due tubi di piombo a forma di tronchi di cono, opportunamente saldati fra loro e col piombo del cavo.

Nell'anno decorso fu poi posato un cavo sottomarino Pupin nel Canale della Manica fra Abbots Cliff e Grisner; un altro è stato posato in questi giorni pure nel Canale della Manica.

Il cavo posato nell'anno decorso è a 4 conduttori, e contiene bobine inserite alla distanza di un miglio marino.

Ciascuna bobina è costituita da due avvolgimenti collocati sopra uno stesso nucleo di ferro, ed inclusi in serie sui due conduttori di una coppia. Le bobine sono protette con fogli di stagnola e circondate poi da guttaperca: la stagnola ha lo scopo di evitare che la copertura di seta dei fili delle bobine assorba l'umidità della gutta. Il giunto è protetto da opportuna armatura. Le bobine hanno una resistenza di 6 Ohm ed una induttanza di 0,1 Henry corrispondentemente ad una frequenza di 750.

Il cavo così costruito ha una resistenza effettiva di Ohm 20,90; una induttanza di 102 millihenry, una capacità di 0,138 microfarad per miglio di coppia, ed una costante di smorzamento di circa 0,0017 per miglio (0,009 per km.) di poco inferiore a quella di una linea aerea in filo di bronzo di 2 mm.

Un cavo delle stesse dimensioni, ma non pupinizzato, avrebbe avuta una costante di smorzamento 3,18 volte più grande. Ritengo superfluo estendermi maggiormeute sui particolari di questo cavo, avendo di essa data un'ampia relazione il nostro Presidente Major O' Meara nel " Journal of the Institution of Electrical Engineers „ (Vol. 46, n. 206, aprile 1911).

Noterò semplicemente che, anche per la guttaperca, sussiste la proprietà che l'isolamento per correnti alternate è molto più basso dell'isolamento per correnti continue.

Si è constatato che l'isolamento varia con la frequenza (come del resto per la carta, ma in maggior misura): Breissig ha trovato che, corrispondentemente ad una frequenza di 900 periodi, la conduttanza è di circa 10, mentre il Dr. Ebeling avrebbe trovato, per la stessa frequenza, in alcuni cavi il valore di 0,74.

La determinazione dell'isolamento per correnti alternate dei cavi telefonici è di grandissima importanza e merita la maggiore attenzione.

Cavi Krarup. — Prima ancora che il Pupin facesse noti i risultati dei suoi studî, si era pensato in Europa di avvolgere del ferro intorno al conduttore di rame per aumentarne la induttanza.

I primi esperimenti furono eseguiti dal Breisig nel 1899 sopra un campione di cavo ad un sol conduttore, intorno al quale era stato avvolto un nastro di ferro.

Si ottenne allora però un debole aumento della induzione. Fu il defunto sig. Krarup, ingegnere dei telegrafi danesi, quegli che fece fare al problema un passo considerevole, avvolgendo un sottile filo di ferro intorno ai conduttori di una linea a doppio filo di 2 mm. ed ottenendo così una induttanza per Km. di 10 millihenry.

Dopo ciò l''Amministrazione germanica e la danese posarono diversi cavi tipo Krarup, cavi cioè con induttanza uniformemente distribuita.

Furono posati infatti diversi cavi nei mari del Nord, isolati in guttaperca ovvero in carta ed aria od anche in carta compressa. Il più lungo è il cavo Cuxhaven-Heligoland (Km. 75,2) isolato in carta compressa non impregnata, con conduttori della sezione di 12 $mm.^2$ circondati da un avvolgimento in filo di ferro sottile di mm. 0,3. La induttanza era di circa 4 millihenry per Km. di doppio filo.

Il cavo era a 4 conduttori, ed era coperto da un tubo di

piombo e poscia armato. Altri cavi anche sotterranei furono in seguito costruiti; in nessuno di essi l'induttanza ha superato il valore di circa 9 millihenry per Km. di doppio filo. Al vantaggio dell'aumentata induttanza è connesso un inconveniente, quello delle dissipazioni per correnti vorticose nel ferro, le quali si traducono in un aumento della resistenza del conduttore. Le perdite del ferro sono piccole quando lo strato del ferro è diviso e poco spesso. Esse possono essere determinate con le formule di Larsen, le quali permettono pure di calcolare la induttanza. Maggiori perdite si verificarono nei cavi protetti da tubo di piombo; ciò era dovuto alla dissipazione per correnti di Foucault nel tubo stesso.

Ai fini della corrispondenza a grande distanza i cavi sottomarini Krarup possono essere preferiti a quelli del tipo Pupin allorquando i conduttori hanno così piccola resistenza, ed il dielettrico tale alta conduttanza, da richiedere che l'induttanza non sia molto elevata. Indipendentemente da ciò è da rilevare che allo stato attuale della tecnica non è possibile posare cavi Pupin nei mari profondi.

Circuiti non uniformi. — Come è noto, un circuito telefonico può essere costituito da più spezzoni, disposti in serie, i quali non sono generalmente dello stesso tipo.

Il problema della propagazione diventa in tal caso molto complesso, e non è suscettibile di facile illustrazione.

L'elemento importante che occorre allora considerare è la cosiddetta *impedenza ricevente,* ossia il rapporto fra l'ampiezza della f. e. m. all'origine della linea e quella della intensità al termine di essa.

Calcolata la *impedenza ricevente*, e conosciuto il valore della f. e. m. impressa, si ottiene il valore della corrente nel ricevitore, che è l'elemento più importante a conoscersi. Su questo soggetto si hanno gli interessanti studi del prof. Kennelly, che in numerosi lavori ha data una serie di formule utilissime.

Non è possibile pervenire ad una legge di carattere generale, che permetta di conoscere fisicamente la funzione dei diversi elementi della trasmissione di una linea non uniforme; entrando in gioco nel fenomeno della propagazione le costanti elettriche, la lunghezza, la posizione reciproca dei diversi tratti componenti.

Si può tuttavia osservare che la linea non uniforme si comporterebbe come una linea uniforme se le caratteristiche dei

diversi tratti fossero uguali fra loro. L'uguaglianza delle caratteristiche infatti annulla le riflessioni, che si producono nei punti di discontinuità e che sono causa delle complicazioni del fenomeno.

Generalmente le caratteristiche non sono uguali, ed allora si manifestano riflessioni che possono riuscire nocive alla corrispondenza. Nel caso in cui si considera un circuito costituito da tratti di diverse costanti e di non breve lunghezza il Breissig dimostra che in molti casi pratici le riflessioni sono tali da provocare per ogni punto di discontinuità un accrescimento del fattore di smorzamento uguale a

$$\log_e \frac{p+1}{2}, \text{ in cui } p = \frac{1}{2}\left(\frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_2}{Z_1}\right)$$

dove Z_1 e Z_2 sono le caratteristiche dei due tratti contigui.

Se per esempio si congiungono una linea Pupin di caratteristica 2000 ed un cavo urbano Patterson ordinario di caratteristica 300, l'accrescimento del fattore di smorzamento è di circa 0,8; uguale cioè allo smorzamento di circa 400 Km. di una linea in filo di bronzo di 5 mm.

Da questo esempio si comprende come nella pratica possa avere grande influenza il fenomeno delle riflessioni, e come convenga cercare di attenuarne gli effetti, sia rendendo approssimativamente uguali, ove è possibile, le caratteristiche dei tratti contigui, sia ricorrendo all'uso di opportuni trasformatori.

Ad una tale questione è anche connessa quella dell'adattamento degli apparecchi alle linee, di cui lo studio sistematico comincia ora in Europa. Un primo contributo sull'argomento è stato apportato dal prof. Breissig (1) in un suo recente studio.

Sarebbe interessante sapere come in America siano stati risoluti questi problemi dalle Compagnie telefoniche.

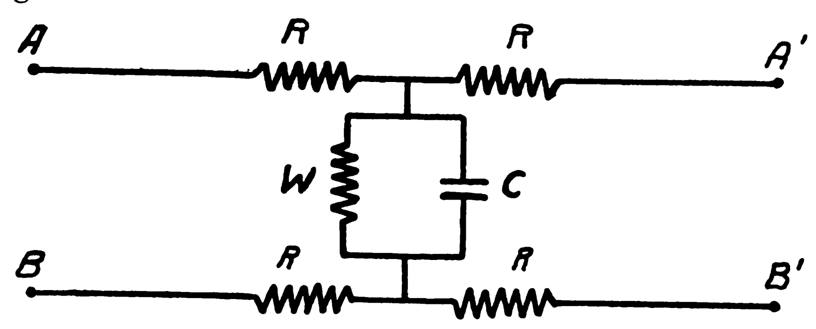
LINEE ARTIFICIALI. — Antica preoccupazione degli Ingegneri telefonici è stata quella di procurarsi una linea campione, a cui potersi riferire nelle trasmissioni telefoniche. A questo scopo sono state utilizzate sia linee artificiali, composte di resistenza e capacità e raggruppate secondo la legge data dal Pupin, sia

(1) *Ueber die Energieverteilung* in *Fernsprechkreisen*, "Elektrotechnische Zeitschrift", 1911.

cavi Patterson a più coppie fra loro riunite. Gli inglesi, per esempio, si riferiscono ad un cavo in carta ed aria allorquando vogliono giudicare delle qualità di una linea. Il metodo che si segue in tale comparazione è il seguente:

I medesimi apparecchi trasmittente e ricevente si inseriscono contemporaneamente o sul circuito da studiare ovvero sul cavo campione. Adatti dispositivi esistono per variare la lunghezza di quest'ultimo. Se avviene che un orecchio bene esercitato apprezzi ugualmente la voce ricevuta e sul circuito in esame e sul cavo artificiale, si dice che il primo è equivalente ad una certa lunghezza del secondo. È però da osservare che una tale equivalenza altro non significa che la impedenza ricevente è la medesima per i due circuiti comparati; e che dalla eguaglianza delle impedenze riceventi non deriva che siano uguali nè le loro caratteristiche nè le loro costanti di smorzamento. A causa di ciò non è possibile, dalla circostanza che alla estremità delle due linee (reale ed artificiale) si riceve nelle condizioni indicate la stessa intensità di voce, desumere alcuna proporzionalità fra le lunghezze delle linee stesse, specialmente quando queste sono brevi. Se le linee comparate sono sufficientemente lunghe, dipendendo allora le impedenze riceventi prevalentemente dalla costante di smorzamento, è possibile mediante il cavo artificiale determinare la costante di smorzamento della linea in esame; ma al disopra di un certo valore di tale costante la comparazione diventa difficile in conseguenza della *distorsione* differente provocata dalle linee suddette.

Meglio in quest'ultimo caso un tale problema è risoluto impiegando un dispositivo semplice studiato indipendentemente l'uno dall'altro dal Breissig e dal Kennelly; dispositivo che è il seguente:



(R e W sono resistenze ohmiche, C una capacità).

Se si immagina applicata in AB una f. e. m. e si chiudono A′ e B′ attraverso un ricevitore, la tensione e la corrente nei punti A′ e B′ si possono esprimere linearmente mediante la tensione e la corrente nei punti A e B. Ora avviene che anche per una linea telefonica la tensione e la corrente alla fine di essa si possono esprimere mediante la tensione e la corrente all'origine. Variano nei due casi soltanto i coefficienti, che per la linea dipendono dalla caratteristica, nonchè dalle costanti di smorzamento e della lunghezza d'onda, mentre per il dispositivo accennato dipendono da R, W, C.

Eguagliando i coefficienti delle grandezze analoghe nelle accennate relazioni lineari, si possono determinare le tre grandezze R, W, C in guisa che la nuova linea artificiale possa costituire un modello sufficientemente approssimato di una linea telefonica di dato tipo e di data lunghezza.

Con cinque resistenze variabili e con un condensatore variabile si può allora ottenere un dispositivo, nel quale la trasmissione può essere uguale a quella di una linea qualunque purchè la costante totale di smorzamento sia sufficientemente grande. Da esperimenti eseguiti è risultato che con tal mezzo, mediante semplici prove di audizione, si può determinare la costante di smorzamento di una linea con una approssimazione di circa il 4 %.

È interessante notare che mercè lo stesso dispositivo della fig. 2, sopprimendo una volta il condensatore C, una seconda volta la resistenza W, variando opportunamente questa e quello in guisa da avere la medesima audizione in A′B′ quando da AB si parlava col medesimo apparecchio, si osservò che la resistenza W risultava uguale alla impedenza del condensatore C corrispondente ad una pulsazione di circa 5000. Se ne dedusse che detta pulsazione poteva essere assunta come quella media della voce umana, ed introdotta nei calcoli pratici che mirano a studiare le proprietà dei circuiti telefonici dalle quali dipende la riduzione del *volume* della voce.

Limiti della trasmissione telefonica. — Senza volere intrattenermi più oltre su tale argomento, che pure è meritevole del maggiore interesse, accenno alla circostanza che, con l'aiuto di tali linee artificiali, furono eseguite in Germania delle prove pratiche di corrispondenza telefonica atte ad accertare il limite commerciale della corrispondenza stessa: prove che condussero ad ammettere non dovesse la costante di smorzamento

di una linea interurbana superare 2,5 per una pulsazione uguale a 5000.

In base a tale valore non sarebbe possibile con fili di 5 mm. ottenere una buona corrispondenza commerciale al di là di 1400 Km., nè sarebbe possibile con le migliori linee aeree pupinizzate sorpassare una distanza di 2000 Km. Queste conclusioni contrastano alquanto con la pratica americana, che sembra ammetta portate maggiori delle indicate.

A completare questa breve rassegna manca ancora qualche accenno alle ricerche che sono state fatte negli ultimi anni dagli ingegneri dell'ufficio telegrafico degli esperimenti in Germania, dal sig. Devaux-Charbonnel in Francia, dagli Ingegneri del Post Office e della National Telephone Company in Inghilterra, dal sig. Belà-Gati in Ungheria e da altri per illustrare i fenomeni delle trasmissioni telefoniche e per misurare le costanti delle linee e degli apparati telefonici. Un intenso lavoro scientifico su tali questioni è stato svolto in questi ultimi anni al fine di dare una base sicura alla tecnica telefonica, ed è da ritenere che tali ricerche continueranno, essendo esse intimamente legate al successo della telefonia a grande distanza.

Siamo ormai giunti ad un tale stato per cui è necessario ricorrere ai perfezionamenti più modesti per conseguire qualche vantaggio.

Nei riguardi della telefonia a grandissima distanza, la quale rimane sempre affidata alle linee aeree, si può asserire che i rocchetti Pupin non hanno di molto aumentata la portata di trasmissione di dette linee, giacchè i rocchetti sinora costruiti permettono al più di realizzare una linea aerea di 6 mm. con l'impiego di fili più sottili. Il vantaggio della inserzione dei rocchetti è quindi più economico che tecnico.

È da dubitare perciò che con i mezzi attuali si possano raggiungere grandissime distanze, ove non soccorrano nuovi perfezionamenti: il che è da augurare per il progresso delle relazioni sociali.

RÉSUMÉ

Dans le rapport qui precède l'écrivain donne un résumé du travail accompli dans les dernières années dans le champ de la téléphonie à grande distance.

Les phénomènes de la propagation du courant sur les fils sont rappelés spécialement en ce qui regarde la constante d'amortissement *et l'*impédance caractéristique. *L'importance relative de ces deux grandeurs a été discutée en considérant le cas d'une ligne infiniment longue à circuit ouvert: cas qui permet de connaître le rôle des différentes constantes d'une ligne.*

Dans la suite, l'auteur expose ce qui a été fait en Europe pour l'introduction des lignes aériennes Pupin ainsi que des câbles Pupin souterrains et sous-marins; il résume les travaux faits en Allemagne et en Angleterre pour cette application, et il discute l'influence de l'isolement qui empèche d'effectuer une intense pupinisation dans les lignes aériennes ainsi que dans les câbles Patterson et sous-marins. Il mentionne encore les câbles avec inductance uniformément distribuée (câbles Krarup).

Des considérations sur les réflexions dans les circuits non uniformes, sur les lignes artificielles, sur la portée de transmission des circuits téléphoniques costituent la dernière partie du rapport.



DISCUSSION

sur les Rapports des MM. JEWETT et DI PIRRO.

M. le Major O' MEARA (Londres), Président, *en ouvrant la discussion sur les communications de M. Jewett et de M. Di Pirro, fait remarquer que dans les réseaux téléphoniques il faut tenir compte non seulement du point de vue technique, mais aussi du point de vue commercial ed administratif. Les progrès techniques ont rendu possibles les communications à très grandes distances, mais, pour tirer le plus grand profit de ces progrès, il faut projeter les réseaux de façon qu'on puisse les exploiter intensivement.*

M. K. STRECKER (Berlin) *fait remarquer qu'il serait intéressant de connaître les valeurs adoptées par les administrations téléphoniques des différents pays, parce qu'une valeur acceptable pour les abonnés d'un pays ne l'est par pour ceux d'un autre pays. Par exemple, tandis qu'en Amérique on admet pour* βl *la valeur 4, en Allemagne on demande pour l'efficacité de transmission la valeur de l'atténuation égale à 2,5.*

M. G. DI PIRRO (Rome) *répond qu'en Amérique on ne prétend pas avoir pour les longues lignes une audition aussi bonne que pour les lignes courtes. C'est pour cela que pour les premières on adopte* $\beta l = 4$ *et pour les secondes* $\beta l = 3$, *mais maintenant on pupinise beaucoup de lignes, et probablement les valeurs limites de* βl *seront réduites.*

M. K. STRECKER (Berlin) *espère qu'avec le câble pupinisé, dernièrement posé entre Douvres et la Panne, selon les calculs faits par l'Administration allemande, on pourra obtenir une bonne communication entre Londres et Berlin.*

M. E. SOLERI (Turin) *fait ses compliments à M. Di Pirro pour sa intéressante communication, et fait remarquer qu'il croit que la détermination de la résistance d'isolement des câbles pour le cas de la haute fréquence, est fortement influencée par les pertes dans le diélectrique et dans les armatures métalliques, et que les résultats des expériences sont toujours influencés par le courant de capacité, difficilement séparable du courant de conduction. Cette question n'a pas encore été assujettie suffisamment ni à l'examen analytique, ni à l'expérience.*

Pour ce qui regarde les câbles à induction uniformément répartie, après Krarup, il doute que les pertes notables dans l'armature en fer

(dues soit aux courants parasites, soit au courant de ligne qui se concentre à la périphérie du conducteur), aient à limiter grandement l'emploi de ce câble par rapport à celui avec bobines Pupin.

Il croit que le perfectionnement plus important est à porter aux appareils, car dans les câbles on a désormais atteint un perfectionnement notable.

M. G. Di Pirro (Rome) *répond que, lorsqu'on parle de conductance, on se réfère à la conductance effective pour courant alternatif: c'est-à-dire à la réciproque du facteur qui détermine la dissipation d'énergie totale pour effet Joule.*

Il existe des méthodes qui permettent de mesurer la conductance ainsi que les autres constantes de la ligne: mais les résultats se référant à la conductance peuvent être affectés d'erreurs sensibles.

Quant au câble Krarup, il peut être employé dans le cas où la résistance du conducteur est très petite (cas de longs câbles) et l'isolement pour courant alternatif, trop petit. Alors il n'est pas convenable d'employer des câbles à inductance élevée.

M. R. Salvadori (Gênes), *au sujet de l'isolement qui a été trouvé beaucoup plus bas pour le courant alternatif que pour le courant continu, fait observer qu'il s'agit de simples définitions, parce que toutes les méthodes employées pour mesurer le soi-disant isolement pour les différences de potentiel alternatives comprennent dans l'isolement toutes les causes de dissipation d'énergie qui sont proportionnelles au carré de la différence de potentiel* ($W = KE^2$) *et admettent que l'on ait* $K = \frac{1}{R}$; *en réalité c'est* R *qu'on appelle résistance d'isolement.*

Il n'y a pas de doute que R *dans ce cas diffère de la résistance ohmique classique, et sa valeur est probablement fortement influencée par les pertes dues à l'hystérésis électrostatique. Pour les recherches sur la transmission peu importe de savoir la raison pour laquelle* R *est si petit aux hautes fréquences, la valeur à adopter étant celle donnée par les expériences. Mais le fait devrait être mieux examiné au point de vue physique, parce qu'il serait utile de séparer les différents phénomènes, pour tâcher de diminuer l'importance de chacun d'eux. On pourrait, par exemple, étudier des isolants ayant plutôt une petite perte par hystérésis, qu'une conductibilité excessivement petite, etc. Il souhaite que les recherches à cet égard soient continuées, parce que les premiers résultats obtenus sont très intéressants, et ont fait changer complètement les idées sur la façon quantitative de se comporter des lignes avec les hautes fréquences.*

M. le Président *observe qu'il y a encore beaucoup à faire et à travailler avant d'obtenir ces caractéristiques.*



Les systèmes téléphoniques automatiques et semi-automatiques

dans leurs rapports

avec l'économie et le perfectionnement des communications dans les grandes villes.

Rapporto sul Tema N. 25 del Congresso.

Relatore H. MILON (Paris)

Ingénieur des Postes et Télégraphes.

Description sommaire des divers systèmes de commutation.

Tout le monde est si bien familiarisé aujourd'hui avec l'usage du téléphone, que l'esprit ne songe plus, lorsque, quelques secondes après le décrochage d'un léger appareil placé à portée de la main, et l'énonciation d'un numéro, la voix du correspondant demandé retentit dans le récepteur, aux innombrables difficultés que cette invention, encore si récente, a eu à surmonter avant d'en arriver à ce point de perfection, pourtant toute relative encore. Pour n'envisager qu'une seule partie du problème, celle de la commutation, n'est-il pas admirable que dans un réseau comptant plus de cent mille abonnés, la communication entre deux quelconques d'entre eux puisse être établie en moins d'une demi-minute, si le demandé ne tarde pas à répondre à l'appel de sa sonnerie? Il n'entre pas dans le programme de ce rapport de rappeler par quels moyens on a pu obtenir un tel résultat. Je me bornerai seulement, pour faciliter les comparaisons ultérieures avec les systèmes automatiques et semi-automa-

tiques, à rappeler très brièvement comment dans le système manuel, c'est-à-dire dans celui qui est encore usité dans l'immense majorité des réseaux téléphoniques, s'effectue la mise en communication de deux abonnés d'un grand réseau.

I.

Système manuel.

Si le réseau ne comporte pas plusieurs agglomérations distinctes et distantes, et si le nombre total d'abonnés à prévoir pendant la durée des installations existantes ne dépasse pas 10 à 15000, le système le plus généralement employé est celui du commutateur multiple. On sait que dans ce système tous les abonnés sont reliés à un même bureau; chaque téléphoniste reçoit les appels d'un certain nombre d'abonnés, variable suivant l'activité du trafic, et, afin de pouvoir leur donner satisfaction immédiate, a à sa disposition les lignes de tous les abonnés du réseau. Chaque ligne est pourvue dans ce but d'organes de prise de contact — des jacks —, multiplés, c'est-à-dire répétés à la portée de toutes les téléphonistes du bureau. La communication est établie au moyen d'un dicorde ou cordon terminé par deux fiches, dont l'une est enfoncée dans le jack, dit jack local, de l'abonné demandeur, et l'autre dans le jack, dit jack général, de l'abonné demandé. On voit donc que la capacité d'un tel commutateur est limitée par le rapport entre la dimension minima que l'on peut donner au jack, et la distance du jack le plus éloigné du centre d'une position de téléphoniste, distance telle que celle-ci puisse y enfoncer sa fiche sans effort. En pratique cette capacité dépasse très rarement 15000 abonnés.

Au delà, ou si la configuration du terrain rend trop onéreuse la concentration de toutes les lignes vers un seul bureau, il faut en créer plusieurs. Le système d'exploitation le plus généralement adopté dans ce cas est le suivant. Les appels des abonnés parviennent à des téléphonistes, dites téléphonistes A, munies comme plus haut de dicordes. Ces opératrices ont à leur portée: 1° les jacks des lignes de tous les abonnés de leur bureau (cela

n'est pas obligatoire); 2° des lignes de conversation ou d'ordre, aboutissant directement à l'appareil d'une téléphoniste spéciale — téléphoniste B — de chacun des autres bureaux du réseau; 3° des jacks de lignes auxiliaires, lesquelles lignes aboutissent à des monocordes, ou cordons terminés par une seule fiche, placés devant la téléphoniste B chargée de les desservir. Lorsqu'une téléphoniste A reçoit un appel destiné à un bureau quelconque, elle se porte sur la ligne d'ordre qui la relie à une téléphoniste B de ce bureau, et lui indique le numéro de l'abonné demandé; la téléphoniste B lui désigne en réponse une ligne auxiliaire libre, et enfonce la fiche correspondante dans le jack de l'abonné demandé, qui doit toujours être à sa portée. De son côté la téléphoniste A enfonce la seconde fiche de son dicorde dans le jack de la ligne auxiliaire désignée.

Il y a donc dans chaque bureau des téléphonistes A qui reçoivent les appels des abonnés de ce bureau, et des téléphonistes B qui reçoivent les demandes de communication avec ces abonnés, transmises par les téléphonistes A des autres bureaux. Les lignes d'abonnés doivent être multiplées sur les positions B. Elles peuvent l'être ou ne pas l'être sur les positions A. Si elles le sont, la téléphoniste A peut donner directement satisfaction aux abonnés demandant un autre abonné du même bureau; si non, elle doit, dans ce cas aussi, passer par l'intermédiaire d'une téléphoniste B.

On peut, au lieu de la méthode de la ligne d'ordre, employer la méthode d'appel sur les lignes auxiliaires. La téléphoniste A cherche elle-même une ligne libre aboutissant au bureau demandé, s'y porte et appelle la téléphoniste B. Lorsque celle-ci vient en ligne, la téléphoniste A, ou l'abonné demandeur luimême, dans la méthode du double appel, lui désigne le numéro désiré. Les organes essentiels de connexion sont les mêmes que dans la méthode précédente, et la composition du bureau en groupes A et B n'en est pas modifiée (1). La méthode de la ligne d'ordre donne de meilleurs résultats au point de vue de l'exploitation, mais elle est moins avantageuse dans le cas d'un très petit nombre de lignes auxiliaires.

(1) Toutefois le rendement des opératrices n'étant plus le même, la proportion en groupes A et B peut varier en conséquence.



II.

Systèmes automatiques.

Dans ces systèmes, l'abonné est muni d'un mécanisme transmetteur d'appel, qu'il peut brancher sur sa ligne téléphonique (ligne ordinaire à double fil) et qui commande les appareils sélecteurs du bureau central, chargés d'effectuer la liaison entre sa propre ligne et la ligne d'un abonné quelconque du réseau. Dans la plupart des systèmes actuellement en usage, le mode de commande employé est la mise à la terre, au poste de l'abonné, de l'un ou l'autre fil de ligne, relié, au bureau central, à l'un des pôles d'une batterie d'accumulateurs, dont l'autre est aussi à la terre. Dans les appareils dérivés du type Strowger, cette mise à la terre est répétée un nombre de fois égal au chiffre à transmettre (chacun des chiffres composant le numéro demandé étant transmis successivement), avec alternances de terre sur l'autre fil dans l'intervalle des chiffres. Dans l'appareil Lorimer, au contraire, la terre n'est mise sur le fil qu'au moment où un curseur qui lui est relié et qui est déplacé par des impulsions régulières venues du bureau, rencontre un plot préalablement mis à la terre par l'abonné, plot de rang variable suivant le chiffre à transmettre; celui-ci est ainsi différencié par le nombre d'impulsions émises par le bureau entre le départ du curseur et son arrivée sur le plot à la terre. Enfin dans le dernier modèle de l'Automatic Electric Cy, on ne fait plus usage de la terre, et le circuit de ligne est simplement fermé et ouvert un nombre de fois égal au chiffre à transmettre.

Au bureau central, ces impulsions de diverses natures sont reçues dans des appareils dits sélecteurs. Si la sélection porte sur un nombre restreint d'abonnés, moins de 100 par exemple, le sélecteur achève à lui seul la mise en communication, car les contacts mobiles dont il est pourvu, et qui sont en relation avec les fils de la ligne appelante, peuvent atteindre les contacts fixes reliés aux lignes de 100 abonnés. Le sélecteur est alors appelé connecteur. Si le nombre d'abonnés est plus considérable, le sélecteur reçoit seulement les impulsions correspondant à un seul chiffre, puis choisit une ligne auxiliaire libre aboutissant à un autre sélecteur qui reçoit le chiffre suivant. Exemple: Je veux



appeler l'abonné 7328. Le premier sélecteur reçoit le chiffre 7. Ses contacts mobiles vont se mettre en regard d'une série — la 7e — de contacts fixes reliés à des lignes auxiliaires, puis explorent ces contacts jusqu'à ce qu'ils trouvent une ligne libre. Les lignes de la 7me série desservent les abonnés 7000 à 7999, et chacune d'elles aboutit à un 2e sélecteur. Ce 2e sélecteur recevra donc le 2e chiffre, c'est-à-dire 3; ses contacts mobiles s'arrêteront devant la 3e série de lignes auxiliaires, desservant les abonnés 7300 à 7399, puis en choisiront une libre, aboutissant cette fois à un connecteur, puisqu'il suffit maintenant de choisir entre 100 abonnés, et ce dernier appareil achève la connexion par la réception des chiffres 2 et 8. Dans le type Strowger, par exemple, chaque contact mobile viendra en regard de la 2e série horizontale des contacts fixes qui lui correspondent, puis s'arrêtera sur le 8e contact de cette série.

Je ne décrirai pas plus longuement les diverses phases de la mise en communication, ni les autres fonctions obligatoires de tout organe de connexion téléphonique, le non-achèvement de la communication et le retour au repos des sélecteurs mis en mouvement si l'abonné demandé est occupé, l'envoi du courant d'appel soit par une manœuvre de l'abonné demandeur, soit automatiquement, et la déconnexion automatique, c'est-à-dire le retour au repos de tous les organes, lorsque l'abonné demandeur seul dans certains systèmes ou les deux abonnés dans d'autres ont raccroché les récepteurs.

Reste à déterminer comment la ligne de l'abonné sera mise en relation avec le premier sélecteur. Dans les premiers systèmes, cette question avait été résolue de la façon la plus simple en affectant un sélecteur à chaque abonné. Mais étant donnés le prix et les dimensions de cet appareil, il en serait résulté à ce double point de vue une telle infériorité de l'automatique sur le manuel, que son développement eût été fort compromis. Il fallait donc trouver un système qui permît de relier à volonté le premier organe de connexion à telle ou telle ligne appelante, de façon à ne mettre que 10 premiers sélecteurs, par exemple, à la disposition de 100 abonnés, si l'on estime que l'éventualité de plus de 10 abonnés sur 100 causant en même temps comme demandeurs n'est pas à envisager. De même dans une position d'un meuble commutateur manuel, 16 ou 20 dicordes peuvent être mis à la disposition de 150 ou 200 lignes d'abonnés.

Dans les systèmes du type Strowger, modifié par les brevets

allemands, autrichiens ou de l'Automatic Electric C., chaque ligne d'abonné se termine par un appareil automatique, beaucoup plus simple et moins encombrant que le sélecteur, appelé présélecteur ou line-switch; dès que l'abonné a décroché, ou a commencé à manœuvrer son appareil transmetteur, cet organe se met automatiquement en mouvement et vient choisir une ligne libre aboutissant à un sélecteur. Ces présélecteurs sont rassemblés en groupes de 100, par exemple, et chacun d'eux peut choisir parmi 10 lignes communes à tout le groupe. On peut même, pour réduire encore le nombre des sélecteurs, intercaler entre ces derniers et les présélecteurs d'autres présélecteurs ou line-switches secondaires; le line-switch primaire choisit une ligne libre aboutissant à un line-switch secondaire, et celui-ci une ligne libre aboutissant à un sélecteur. Grâce à un câblage spécial qu'il serait trop long d'expliquer ici, 1000 abonnés peuvent ainsi choisir entre 50 ou 60 sélecteurs, et le calcul indique que pour un même nombre moyen de communications par abonné, la probabilité de les trouver tous occupés est aussi faible que si 100 abonnés pouvaient choisir entre 10 sélecteurs. De même des line-switches secondaires peuvent être intercalés entre les premiers et les seconds sélecteurs, entre les seconds sélecteurs et les connecteurs, pour réduire le nombre de ces organes et les lignes auxiliaires qui les relient.

Dans le système Lorimer, un organe appelé chercheur de lignes appelantes est commun à un certain nombre de lignes d'abonnés, et parcourt constamment des contacts d'essai correspondant à ces lignes. Lorsqu'une ligne appelle, un potentiel particulier est mis sur son contact d'essai, et le chercheur de lignes s'y arrête à son premier passage; il met la ligne en connexion avec un sélecteur libre, et repart aussitôt.

Enfin, dans des systèmes plus récents, chaque ligne se termine par des relais, qui dès que l'abonné appelle, mettent en mouvement un ou plusieurs chercheurs de lignes qui explorent les lignes de leur groupe, s'arrêtent sur la ligne appelante et la mettent en contact avec un sélecteur libre.

En résumé, une communication automatique peut se résumer comme suit: la ligne d'abonné est mise en relation, par son présélecteur ou un chercheur de lignes, avec une ligne auxiliaire aboutissant à un premier sélecteur, qui peut donc n'être pas dans le même bureau que ces organes (des procédés spéciaux permettent de réduire la ligne auxiliaire à 2 fils); ce premier

sélecteur se connecte à une ligne aboutissant à un 2e sélecteur; si le numéro de l'abonné demandé comporte 5 chiffres, ce 2e sélecteur prend une ligne aboutissant à un 3ème sélecteur et ainsi de suite. Le dernier sélecteur, d'ordre $n - 2$ si le réseau compte n chiffres par numéro d'appel, se met en relation avec le connecteur, qui prend directement la ligne de l'abonné demandé (voir fig. 1).

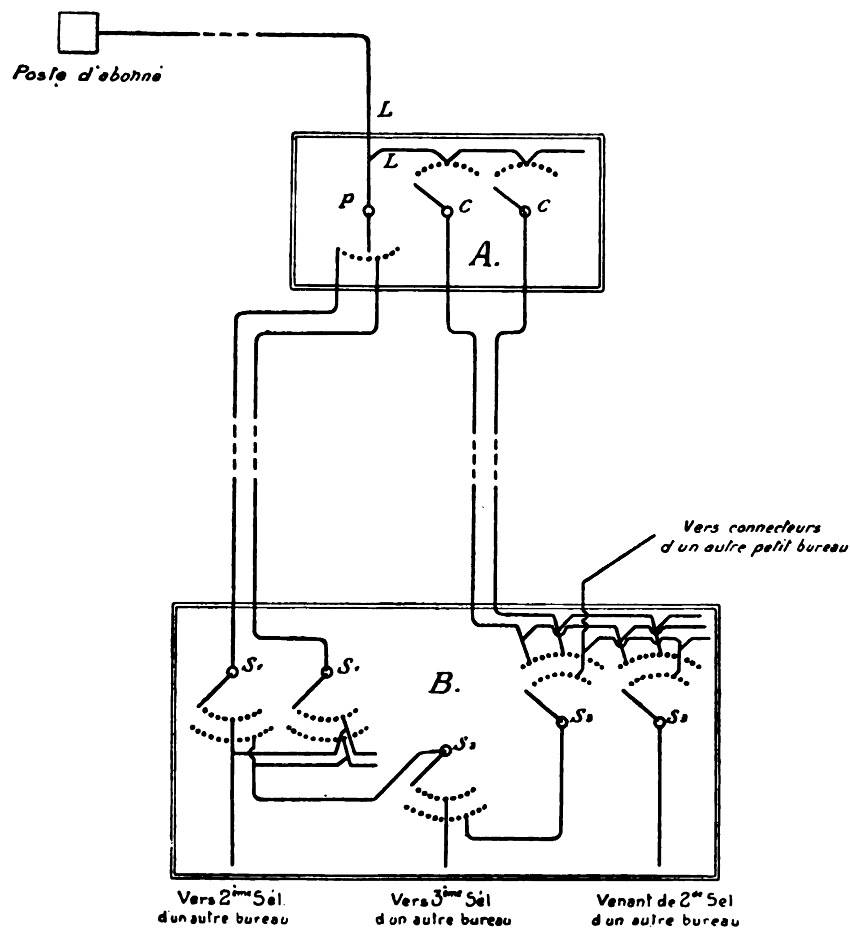


Fig. 1.

Diagramme des connexions d'un réseau automatique de 100.000 abonnés.

A: Petit bureau ne comportant que des présélecteurs et des connecteurs.
B: Bureau central.
L: Ligne d'abonné.
P: Présélecteur; *C, C*: Connecteurs; $S_1 S_1$: 1re Sélecteurs; $S_2 S_2$: 2es Sélecteurs; $S_3 S_3$: 3es Sélecteurs.

On voit donc que de tous ces organes, seuls les présélecteurs et les connecteurs doivent être dans le bureau où aboutissent les lignes d'abonnés qu'ils desservent. On peut donc faire de petits bureaux pour recevoir celles-ci, ce qui réduira leur longueur moyenne, et répartir les appareils sélecteurs dans de grands bureaux, pour faciliter leur surveillance et leur entretien. Chaque petit bureau sera relié à un seul grand bureau, le plus voisin, par les lignes auxiliaires aboutissant aux premiers sélecteurs qui lui sont attribués, et celles qui desservent ses propres connecteurs, et il ne sera donc pas nécessaire de relier directement deux à deux tous les petits bureaux. On verra dans la discussion ultérieure, que c'est là un avantage économique important de l'automatique sur le manuel.

III.

Systèmes semi-automatiques.

Examinons maintenant le principe des différents systèmes semi-automatiques. Ceux qui ont été réalisés dans la pratique sont encore peu nombreux, mais les idées et les projets qui ont été émis à leur sujet le sont beaucoup plus et le champ de leurs applications possibles est extrêmement vaste. Tout d'abord on peut discerner deux degrés différents du semi-automatique:

1° Appareils automatiques intercalés entre l'abonné appelant et l'opératrice manuelle;

2° Appareils automatiques intercalés entre l'opératrice manuelle et l'abonné demandé.

Certains systèmes, qui sont à plus proprement parler des distributeurs de trafic, ne comportent que le premier degré; d'autres ne comportent que le second; d'autres enfin qui réalisent le type complet du semi-automatique, comportent les deux. La discussion ultérieure portera surtout sur ces derniers.

Les appareils du premier degré sont entièrement analogues soit aux présélecteurs ou line-switches, soit aux chercheurs de lignes des systèmes automatiques. Leur emploi présente un triple intérêt:

1° Il permet de répartir et d'égaliser automatiquement le trafic des différents groupes d'abonnés, de façon que toutes les téléphonistes aient un travail moyen égal;

2° Il permet d'épargner une manœuvre à la téléphoniste, en connectant automatiquement une ligne appelante à un cordon libre, qui doit être seul manœuvré, alors que dans le système ordinaire la téléphoniste doit manœuvrer le cordon de réponse, puis le cordon d'appel;

3° Il permet, comme nous l'avons vu plus haut pour l'automatique, de réaliser une économie notable de canalisations, en constituant de petits bureaux automatiques auxquels aboutissent les lignes d'abonnés, et en les reliant par des lignes auxiliaires à des bureaux centraux où sont les téléphonistes. Quand l'abonné appelle, son présélecteur situé dans le petit bureau, le met automatiquement en relation avec une ligne aboutissant devant une téléphoniste du bureau central. Quand il est appelé, la téléphoniste utilise une ligne auxiliaire aboutissant au petit bureau auquel il est relié, et dans lequel sont des appareils sélecteurs et connecteurs qui achèvent la mise en communication. On voit que dans ce cas les appareils du 2e degré sont également indispensables.

Les appareils du 2e degré sont: l'un, celui qui est manœuvré par la téléphoniste, analogue à l'appareil transmetteur d'appel du poste d'abonné (en raison de la spécialisation de l'agent qui l'utilise, il peut être conçu de façon à permettre des manœuvres beaucoup plus rapides, au prix d'un encombrement et d'une dépense supérieurs), les autres, ceux qui cherchent l'abonné demandé, absolument semblables aux sélecteurs et aux connecteurs automatiques. Leur emploi présente également un triple intérêt:

1° Les manœuvres de la téléphoniste peuvent être plus rapides que dans le système manuel. Beaucoup d'appareils automatiques d'opératrice ont la forme suivante: sur un clavier sont disposées n séries de 10 boutons numérotés dans chaque série de 0 à 9 (si n est le nombre maximum de chiffres composant un numéro d'appel); pour appeler l'abonné 7245..., la téléphoniste doit simplement appuyer sur le bouton 7 de la 1ère série, puis sur le bouton 2 de la seconde, etc... Cela est évidemment beaucoup plus rapide que de demander un numéro par ligne de conversation à une téléphoniste B, puis de chercher la ligne auxiliaire qu'elle vous désigne en réponse. D'après les résultats obtenus dans certaines installations de ce genre (automanuel Clement, à Ashtabula, Ohio) cela est même sensiblement plus rapide que de chercher le jack de l'abonné demandé dans un multiple, et d'y enfoncer la fiche d'appel, dans le cas d'un seul bureau. De plus la téléphoniste n'a à se préoccuper, ni de la

déconnexion qui s'effectue automatiquement, ni du cas où la ligne demandée est occupée, l'abonné en étant directement avisé par un ronflement spécial;

2° Dans le cas de plusieurs bureaux, ils permettent de supprimer les téléphonistes B ou téléphonistes d'arrivée, puisque les appareils mis en marche par la téléphoniste du bureau demandeur achèvent automatiquement la connexion;

3° Enfin, comme nous l'avons vu, ils peuvent, combinés avec les appareils du 1er degré, permettre de réaliser une économie notable sur les installations.

Sous sa forme la plus complète, un réseau semi-automatique sera donc semblable à un réseau automatique avec cette seule différence, que l'appareil transmetteur d'appel au lieu d'être chez l'abonné est devant la téléphoniste. Le passage d'un système à l'autre peut se faire sans difficulté. Cette forme complète du système semi-automatique sera surtout intéressante dans les très grands réseaux, à trafic intense, où toutes les considérations énumérées ci-dessus ont leur importance.

Au contraire, si l'on a surtout en vue de satisfaire au 3ème besoin, qui est de raccourcir les lignes d'abonnés, on peut créer des petits bureaux suburbains ou des bureaux secondaires privés, munis d'une forme toute spéciale du semi-automatique. Au lieu de relier directement à un bureau central les postes téléphoniques d'un quartier excentrique, ou les lignes d'un groupe d'abonnés très rapprochés les uns des autres et causant peu, on peut le relier à un petit bureau situé au milieu d'eux, et on établit entre celui-ci et le bureau central des lignes auxiliaires en nombre très restreint. La présence de tout personnel opérateur dans le petit bureau pourra être évitée si l'on y installe des appareils automatiques permettant à chaque abonné de prendre la première ligne auxiliaire libre, et à la téléphoniste du bureau central, qui doit être munie d'un transmetteur d'appels, de se relier à l'abonné demandé. Là où existent dejà des bureaux suburbains ou secondaires, l'adoption de ce système permettra, moyennant l'adjonction d'un organe mis à la disposition des téléphonistes du bureau central, de remplacer le service manuel, forcément interrompu, par un service automatique qui a le double avantage d'être plus économique et d'être permanent de jour et de nuit.

C'est à cette catégorie qu'appartient l'autocommutateur Steidle, usité en Bavière.

Autres combinaisons.

Enfin, bien d'autres combinaisons utilisant les appareils automatiques peuvent être imaginées. En voici une, par exemple: Supposons que dans un grand réseau manuel, comportant plusieurs bureaux, nous munissions chaque abonné d'un transmetteur d'appel automatique; au bureau central sa ligne conservera ses jacks généraux sur les positions B, mais le jack local et le signal d' appel seront remplacés par un présélecteur aiguillant la ligne appelante vers un premier sélecteur libre. Cet appareillage automatique pourra permettre de supprimer les meubles A, si nous obligeons l'abonné à appeler directement le bureau demandé par une seule manœuvre du disque de son transmetteur d'appels; le sélecteur utilisé reliera sa ligne à une ligne auxiliaire aboutissant à un cordon libre devant une téléphoniste B du bureau demandé, à laquelle il s'adressera, et qui complétera la connexion comme dans le service manuel ordinaire.

Si l'on étudie la question au point de vue purement théorique, ce système qui présente à la fois, quoique très amoindris, les inconvénients et les risques d'erreur du système automatique et du système manuel, ne paraît pas très recommandable *a priori*; mais, en pratique, lorsqu'on rencontre des difficultés dans l'extension d' un grand réseau manuel, cette solution qui permet d'utiliser une grande partie du matériel existant, et peut être appliquée progressivement et sans grosses dépenses improductives au début, peut devenir des plus intéressantes. Elle peut, en tout cas, servir de transition économique entre le manuel et l'automatique.

Discussion et comparaison des divers systèmes.

Nous pouvons maintenant aborder la comparaison des divers systèmes au double point de vue mentionné dans le titre du rapport, de l' économie et du perfectionnement des communications. Examinons tout d'abord ce second point de vue.

I.

Perfectionnement des communications.

Pour satisfaire complètement un abonné, une communication téléphonique doit être bonne comme audition, doit être obtenue rapidement, et ne comporter qu'un minimum de risques de troubles ou d'erreurs.

1° *Qualités d'audition.* — Les appareils de conversation peuvent être les mêmes dans les divers systèmes, les fils employés également, les organes de connexion peuvent être calculés pour n'apporter qu' un minimum d'affaiblissement. Il n'y a donc pas lieu d'établir de comparaison à ce point de vue. Notons toutefois, en faveur de l'automatique et du semi-automatique, la possibilité de raccourcir la ligne d'abonné, ce qui assure une meilleure alimentation des appareils à batterie centrale.

2° *Rapidité de la mise en communication.* — On a vu plus haut comment et pour quelle raison l'adoption du semi-automatique permettait de gagner sur le temps nécessaire à la mise en communication. Pour plus de précision, analysons les différentes périodes d'une connexion manuelle ou semi-automatique.

a) L'abonné décroche, la téléphoniste A enfonce sa fiche pour lui répondre. Le temps moyen qui s'écoule entre ces deux opérations dans les réseaux manuels exploités dans les conditions les plus satisfaisantes (réseau de la New-York Telephone C^y^) est de 2 secondes $^1/_2$ à 3 secondes. L'adoption de répartiteurs de trafic égalisant les appels reçus par la téléphoniste A, et supprimant la manœuvre d'une fiche, permettra vraisemblablement de gagner 1 seconde sur ce temps déjà très réduit. Elle permettrait de gagner beaucoup plus sur les temps relevés dans plusieurs réseaux européens, qui varient de 12 à 25 secondes.

b) La téléphoniste prend connaissance du numéro demandé et le répète pour éviter toute chance d'erreur. Temps moyen relevé: 5 secondes dans les 2 systèmes.

c) La téléphoniste établit la communication, et appelle l'abonné demandé. Temps moyen dans un réseau manuel à un seul commutateur multiple: 3 secondes; dans un réseau à nombreux bureaux 13 secondes $^1/_2$. Temps moyen dans un réseau semi-automatique: 2 secondes $^7/_{10}$ (Ashtabula) dans le cas de



numéros de 3 chiffres, 3 secondes $^1/_2$ dans le cas de numéros de 5 chiffres. Il faut ajouter à ces temps qui sont ceux pendant lesquels la téléphoniste semi-automatique est occupée, le temps nécessaire pour que les appareils qu'elle a mis en marche aient achevé de fonctionner, soit 1 seconde $^1/_2$ à 2 secondes.

d) Enfin la déconnexion, qui demande 4 secondes dans un réseau manuel, est instantanée dans un réseau semi-automatique.

Dans l'automatique, les périodes *a) b) c)* sont remplacées par une période unique pendant laquelle l'abonné effectue lui-même les manœuvres nécessaires à la connexion et à l'appel. Le temps nécessaire varie, pour un réseau à numéros de 5 chiffres, de 8 secondes, pour les appareils à disques, à 13 secondes pour les appareils à combinateur (nous verrons plus loin le principe et le rôle de cet organe).

En résumé nous avons les temps suivants, pour les grands réseaux :

	Manuel (N.-Y. Tel. Cy)	Semi-automatique	Automatique	
			à Disque	à Combinateur
CONNEXION : temps écoulé entre le moment où le demandeur décroche et celui où commence l'appel du demandé	21sec. $^1/_2$	12sec.	8sec.	13sec.
DÉCONNEXION	4sec.	0	0	0

3° *Risques de troubles et d'erreurs.* — Distinguons à ce sujet entre les troubles dus à des défectuosités accidentelles du matériel, ou dérangements, et les erreurs dues à des fausses manœuvres ou à des malentendus des abonnés et des téléphonistes.

Les dérangements de lignes sont les mêmes dans les 3 systèmes. Signalons toutefois que dans les systèmes automatiques ou semi-automatiques les lignes d'abonnés pouvant être moins longues, les risques de dérangement diminueront, proportionnellement dans les réseaux aériens, beaucoup moins dans les réseaux souterrains, où le raccourcissement portera surtout sur les gros câbles.

Les dérangements d'appareils au contraire paraissent devoir être plus nombreux dans les systèmes automatiques, par suite de la complexité beaucoup plus grande des organes nécessaires. Remarquons toutefois que des organes sur lesquels agit la main des opératrices tels que jacks, fiches et surtout cordons, sont relativement beaucoup plus sujets à dérangements que des organes automatiques sur lesquels les efforts exercés sont toujours les

mêmes. Pour avoir à ce sujet des données précises, il faudrait pouvoir comparer deux installations construites par la même maison et ayant travaillé également. A défaut de celà, on peut estimer, d'après la comparaison des effectifs nécessaires à la relève des dérangements dans différents réseaux des États-Unis, que le nombre de ceux-ci, tant dans les postes d'abonnés que dans les organes du bureau central, doit être supérieur dans un réseau automatique de 30 à 40 % à ce qu'il est dans un réseau manuel très bien entretenu.

Pour le semi-automatique, les données manquent tout-à-fait; en raison de la suppression de l'appareil transmetteur d'abonné on peut escompter une legère diminution par rapport à l'automatique.

Analysons maintenant les différentes causes d'erreurs ou de malentendus. Dans le manuel (grands réseaux) nous avons:

a) risques d'incompréhension du numéro demandé entre l'abonné et la téléphoniste A;

b) risques de malentendu entre les téléphonistes A et B;

c) risques de fausse manœuvre de la téléphoniste A;

d) id. id. id. B.

Dans le semi-automatique, les risques *a)* sont les mêmes, les risques *b)* sont supprimés, les risques *c)* persistent, peut-être un peu augmentés du fait de la complexité plus grande des manœuvres à faire, les risques *d)* sont supprimés.

Dans l'automatique tous ces risques sont supprimés et remplacés par les risques de fausse manœuvre de l'abonné.

Je regrette de n'avoir pas de statistiques à produire à ce sujet; il serait à désirer que les administrations ou compagnies, ayant expérimenté les deux systèmes de façon désintéressée, en fassent connaître.

Mais il est évident qu'on ne saurait en étendre les résultats d'une contrée à l'autre, le mode de prononciation des numéros, l'accent tonique, la part d'attention et de discipline que l'on peut exiger du personnel jouant le plus grand rôle dans cette matière.

Les ingénieurs des grandes compagnies américaines du système Bell, qui ont à leur disposition un personnel très discipliné, et dont la langue se prête assez peu aux confusions de chiffres, estiment que le système préférable est le semi-automatique; ce système en effet, tout en réduisant au minimum la contribution manuelle apportée aux opérations de connexion,

laisse au poste d'abonné toute sa simplicité, et n'impose pas à une personne, qui peut être totalement inexpérimentée, et qui en tout cas peut avoir l'esprit ailleurs, être préoccupée de ce qu'elle va dire à son correspondant, etc., des manœuvres fastidieuses et qui exigent toujours une certaine attention, croissante avec le nombre de chiffres à transmettre.



Fig. 2.
Poste d'abonné (Automatic Electric Cy.) avec disque d'appel.

Fig. 3.
Poste d'abonné avec combinateur d'appel (Système Dietl).

En France, au contraire, on ne peut exiger du personnel une attention aussi soutenue et un égal rendement; l'abonné demande son numéro en énonçant le nombre entier, avec l'accent tonique sur la dernière syllabe, ce qui prête plus à confusion que lorsqu'on énonce les chiffres séparés avec une même accentuation. Pour ces deux raisons, il est possible que l'automatique l'emporte sur le semi-automatique, mais seul un essai pratique permettra de s'en assurer. En tout cas la supériorité du semi-automatique sur le manuel paraît être admise par tous les spécialistes, du moins pour les grands réseaux à trafic intense.

Une disposition spéciale permet de réduire les risques de fausse manœuvre de l'abonné dans le système automatique; au lieu de lui faire transmettre séparément chaque chiffre du numéro demandé par une manœuvre du disque, on met à sa disposition un appareil dit combinateur (voir fig. 2 et 3); par la manœuvre d'autant de leviers qu'il y a de chiffres à transmettre, il fait apparaître dans une série de petites fenêtres le numéro entier tout composé: puis il remonte une manivelle, et l'appareil transmet automatiquement chaque chiffre comme le ferait l'abonné. Les risques d'erreur de la part de l'abonné sont pour ainsi dire supprimés; mais, en dehors de la question du prix de revient, il faut tenir compte de l'accroissement du risque de dérangements apporté par ce mécanisme assez compliqué, et de l'augmentation du temps nécessaire pour la mise en communication.

En résumé, il est impossible d'affirmer d'une façon générale que les communications soient plus parfaites avec tel système qu'avec tel autre. Il serait désirable que les administrations ou compagnies employant des systèmes automatiques fassent connaître des statistiques indiquant le nombre de dérangements survenus dans leurs appareils, et, si c'est possible, le nombre de fausses manœuvres imputables aux abonnés. Les autres pourraient alors comparer ces chiffres à ceux que la statistique donne pour le système manuel dans leurs propres réseaux.

II.

Discussion au point de vue économique (1).

Comme cette étude s'applique surtout aux grands réseaux, prenons comme sujet de comparaison le montant des frais d'exploitation d'un grand réseau manuel, comportant au moins 7 à 8 bureaux centraux, à canalisations entièrement souterraines. Supposons que dans ce réseau les téléphonistes fournissent en

(1) Je n'envisagerai ici que le service urbain, le service interurbain donnant lieu à des taxes spéciales, et étant assuré d'une façon à peu près identique dans les divers systèmes.



moyenne 7 heures de travail par jour, soient capables de donner dans l' heure la plus chargée 150 communications pour un groupe A, 300 pour un groupe B, et soient payées K francs par jour (il s'agit ici du salaire *majoré*, c'est-à-dire tenant compte des congés payés, de la pension de retraite, des indemnités et subventions diverses, soins médicaux, etc.); le trafic dans l'heure la plus chargée est supposé égal au sixième du trafic total de la journée. Si l est la longueur de la ligne en kilomètres, et N le nombre moyen de conversations par jour, nous aurons pour chaque abonné les évaluations suivantes en francs:

Amortissement et entretien	de la ligne	$= 30\,l$
id.	du poste d'abonné	$= 10$
id.	des appareils des bureaux centraux	$= 15 + 2{,}5\,N$
id.	des lignes auxiliaires (8 km. de longueur moyenne)	$= 1{,}25\,N$
Loyer, éclairage, chauffage, entretien des bâtiments		$= 5 + 0{,}75\,N$
Salaires du personnel surveillance comprise	positions $A = 1{,}2\,KN$ positions $B = 0{,}6\,KN$ serv. access. $= 0{,}2\,KN$	$= 2\,KN$

Au total nous aurons comme ensemble des frais d'exploitation par ligne d'abonné

$$F = 30\,l + 30 + (4{,}5 + 2\,K)\,N.$$

Pour $l = 2$ kilomètres en moyenne, et $K = 5^{\text{frs}},50$, nous avons

$$F = 90 + 15{,}5\,N.$$

Si l'on admet 20 % de frais généraux et 10 % de bénéfices, on voit que dans un tel réseau il faudrait faire payer à chaque abonné 120^{frs} de base fixe et $0^{\text{fr}},06$ en sus par conversation urbaine demandée.

Étudions maintenant comment ces divers éléments varient suivant les systèmes employés.

A) Ligne. — On ne peut réduire la longueur moyenne de la ligne d'abonné qu'en multipliant le nombre des bureaux. Dans

le système manuel, on se trouve rapidement limité dans cette voie par les considérations suivantes:

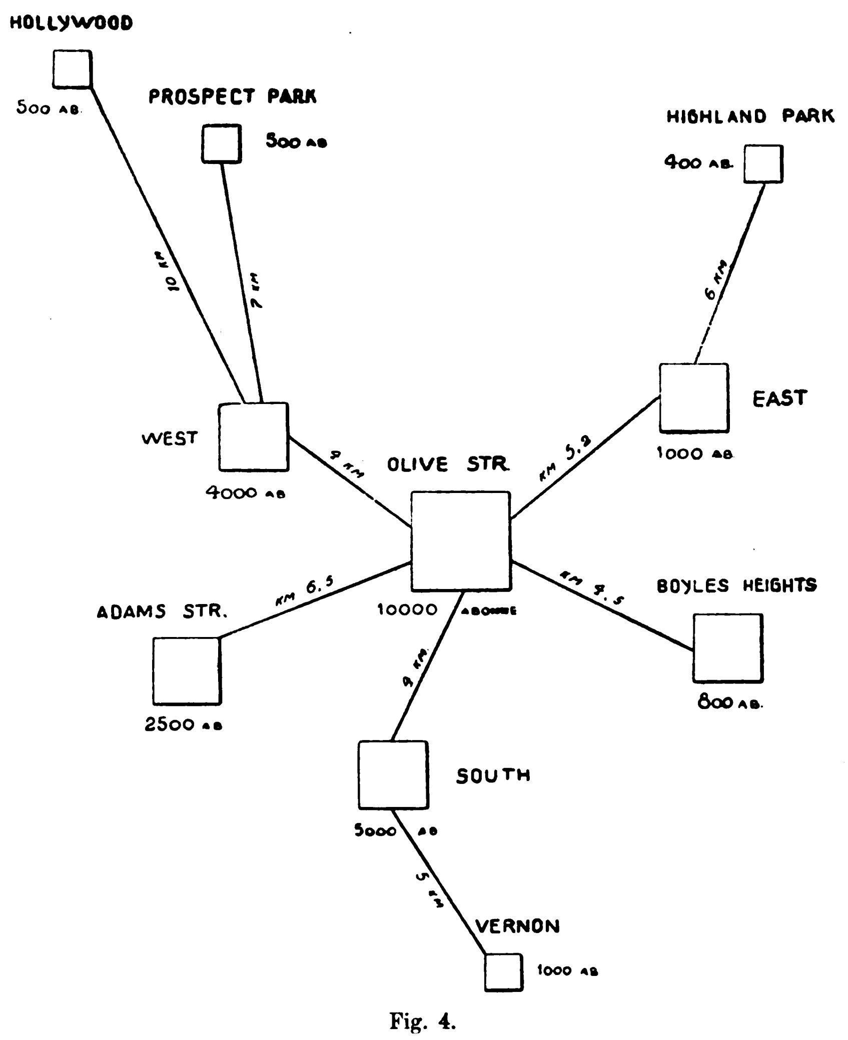


Fig. 4.
Plan du réseau de Los Angeles (Cal.) équipé par l'Automatic Electric Cy.

1° Dans les bureaux trop peu importants, les effectifs très faibles ne présentent plus aucune souplesse; le rendement du personnel des services accessoires, ainsi que du personnel opérateur aux heures de service réduit diminue beaucoup;

2° Il devient nécessaire d'affecter une même télépho-

niste B à plusieurs bureaux différents, son rendement diminue, l'audition sur les lignes de conversation devient précaire, et on se trouve amené à employer dans certains cas la méthode de l'appel sur les lignes auxiliaires, moins satisfaisante ;

3° Si l'on veut réunir directement deux à deux tous les bureaux, comme le nombre de conversations échangées entre deux petits bureaux éloignés peut être très petit, le rendement des lignes auxiliaires devient très faible ; le calcul montre que, si l'on voulait conserver la même certitude pour un abonné appelant d'en trouver une libre, on serait amené, par exemple, à mettre 6 lignes là ou 2 suffiraient si l'on pouvait écouler le même trafic moyen par ligne qu'entre deux grands bureaux. Aussi, dans les très grands réseaux, les petits bureaux ne sont-ils réunis qu'à un certain nombre d'autres importants ou voisins, et les communications avec les autres sont données par l'intermédiaire de 3 opératrices, ce qui augmente d'autant les frais d'exploitation.

Dans les systèmes automatiques ou semi-automatiques, toutes ces raisons disparaissent, puisqu'il n'y a plus d'opératrices si ce n'est dans les grands bureaux, et que les petits bureaux sont, comme nous l'avons vu, réunis à un seul grand bureau. On voit donc qu'on pourra réaliser, en adoptant ces systèmes, une économie notable de canalisations. Le plan ci-contre (fig. 4) indique la disposition des bureaux du réseau automatique de Los Angeles (Californie) équipé par l'Automatic Electric C^y^, qui pour 26.000 abonnés comprend 10 bureaux, dont les plus petits, équipés seulement pour 4 à 500 lignes, ne comportent pas de personnel permanent, et sont éloignés de plus de 6 à 8 kil. du bureau central le plus voisin.

B) Appareils et bâtiments. — L'appareil d'abonné est le même dans le semi-automatique que dans le manuel. Pour l'automatique, il faut prévoir une plus-value annuelle, représentant les frais d'amortissement et d'entretien, qui peut varier de 5 à 15^{frs} suivant qu'il s'agit, comme transmetteur d'appels, d'un simple disque ou d'un combinateur.

Pour les appareils des bureaux centraux, le prix de revient par direction d'abonné, dans un réseau de 10.000 à 100.000 abonnés, peut être représenté, pour les systèmes actuellement exploités sur une assez grande échelle, par la formule approximative

$$P = 80 + 17\,N$$

d'où en comptant 14 % pour l'amortissement et intérêts et 6 % pour l'entretien

$$f = 16 + 3{,}5\ \mathrm{N}$$

comme frais d'exploitation annuels.

Pour le bâtiment, les salles réservées aux appareils doivent être un peu plus grandes, mais on économise tout l'emplacement nécessaire pour le personnel. Comptons néanmoins, par mesure de prudence, sur la même dépense que pour le manuel.

$$f = 5 + 0{,}75\ \mathrm{N}.$$

Pour le semi-automatique les frais relatifs aux appareils du bureau central doivent être légèrement majorés, pour tenir compte des appareils et positions d'opératrice; évaluons cette majoration à 0,25 N.

C) Lignes auxiliaires. — Dans l'automatique et le semi-automatique il faut prévoir une dépense en lignes auxiliaires plus forte que dans un réseau manuel à grands bureaux, d'abord pour tenir compte de l'augmentation du nombre et de la distance des bureaux, ensuite parce que le rendement en est légèrement inférieur pour la raison suivante: un appareil sélecteur peut choisir parmi 10 lignes auxiliaires au maximum, tandis qu'une téléphoniste A en a, en général, un plus grand nombre à sa disposition. On peut remédier à cet inconvénient de l'automatique, soit en construisant des sélecteurs pouvant choisir parmi plus de 10 lignes, soit en intercalant sur les lignes reliant les sélecteurs des line-switches secondaires; dans ce cas il faudrait reporter sur les appareils une partie de la plus-value prévue pour les lignes. Évaluons donc les frais annuels de lignes auxiliaires par abonné à

$$f = 1{,}75\ \mathrm{N}.$$

D) Personnel. — Dans l'automatique il ne restera plus que le personnel des services accessoires (renseignement, réclamations, essais d'exploitation, comptabilité, etc.). Il faudra, il est vrai, l'augmenter pour tenir compte de ce fait que l'abonné ne pouvant plus s'adresser à sa téléphoniste, demandera plus souvent le service de renseignements ou de réclamations, que les essais d'exploitation (essais préventifs destinés à contrôler le bon



fonctionnement des organes) seront plus nombreux, etc., mais en le doublant nous serons certainement très larges : d'où

$$f = 0{,}4\,\mathrm{K\,N}.$$

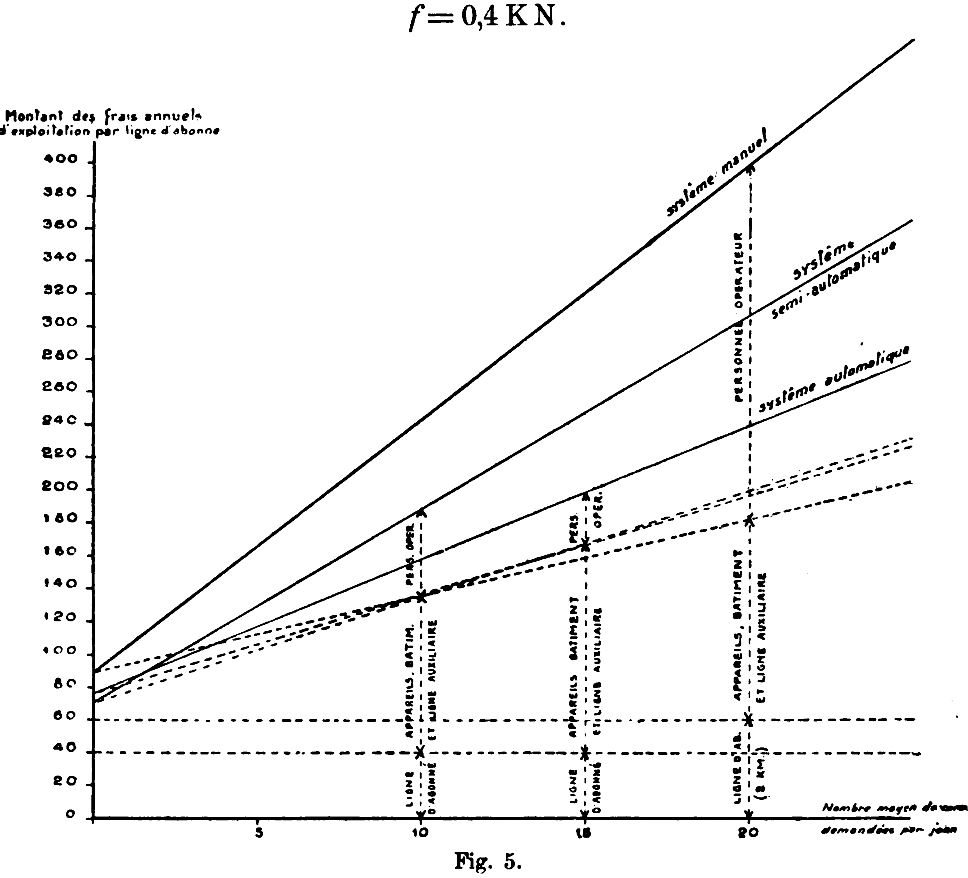


Fig. 5.

Frais annuels d'exploitation dans un réseau de 100.000 abonnés (ligne d'abonné supposée réduite d'$^1/_3$ dans l'automatique).

Dans le semi-automatique, les opératrices, au lieu de donner 150 communications à l'heure la plus chargée comme les téléphonistes A du service manuel, peuvent en donner au moins 300 dans un réseau de 5 chiffres ; les téléphonistes B sont supprimées ; supposons que le personnel des services accessoires soit également doublé, nous aurons au lieu de 1,2 KN + 0,6 KN + 0,2 KN

$$f = 0{,}6\,\mathrm{K\,N} + 0{,}4\,\mathrm{K\,N} = \mathrm{K\,N}.$$

Au total en désignant par l' la longueur moyenne réduite de

la ligne d'abonné dans les systèmes non manuels, nous aurons le tableau suivant, pour un réseau de 20.000 à 100.000 abonnés.

	Frais annuels d'exploitation par abonné
Manuel	$30\,l + 30 + 4{,}5\,N + 2\,K\,N$
Semi-automatique	$30\,(^1)\,l' + 30 + 6{,}25\,N + K\,N$
Automatique disque	$30\,(^1)\,l' + 35 + 6\,N + 0{,}4\,K\,N$
„ combinateur	$30\,(^1)\,l' + 45 + 6\,N + 0{,}4\,K\,N$

N étant, comme nous l'avons vu, le nombre moyen de conversations urbaines par jour et par abonné, et K, le salaire journalier moyen *majoré* d'une opératrice.

Dans le cas où nous nous sommes placés tout à l'heure ($l = 2$ Kil.) d'une ligne moyenne courte, qui est le plus fréquent pour les grandes villes à population dense, l'économie à réaliser sur la ligne ne peut être que relativement faible; supposons qu'elle soit d'un tiers, nous aurons (toujours pour $K = 5{,}50$)

Semi-automatique $F = 70 + 11{,}75\,N$ (Fig. 5)

Automatique $F = \left.\begin{matrix}75\\85\end{matrix}\right\} + 8{,}2\,N$;

on voit que la redevance fixe à imposer à chaque abonné sera légèrement inférieure, et que la taxe par conversation pourra être réduite de près de 50 % dans l'automatique; dans le semi-automatique, la redevance fixe pourra être réduite de 25 % et la taxe par conversation également.

Si, au contraire, nous envisageons le cas d'un réseau plus petit, où l'on puisse relier tous les abonnés à un seul bureau manuel, les conditions changent; sans reprendre tous les calculs précédents, nous pouvons, en tenant compte de la différence de cherté de la vie, du prix des terrains, etc.... ($K = 5^{frs}$), évaluer comme il suit les frais d'exploitation:

Manuel $F = 25\,l + 25 + 2\,N + 1{,}2\,K\,N$

Semi-automatique $F = 25\,l' + 25 + 4{,}5\,N + 0{,}9\,K\,N$

Automatique $F = 25\,l' + \left\{\begin{matrix}30\\40\end{matrix}\right\} + 4{,}3\,N + 0{,}3\,K\,N.$

(1) En réalité, il faudrait augmenter légèrement les frais annuels par kilomètre dans ce cas, pour tenir compte de la plus grande proportion de longueur en petits câbles, qui durent moins longtemps.

Mais ici nous pouvons admettre que de $l = 3$ Km. par exemple nous passons à $l' = 1^k{,}5$, d'où, pour $K = 5$

$$\begin{array}{lll} \text{Manuel} & F = 100 + 8\,N & \\ \text{Semi-automatique} & F = 62{,}5 + 9\,N & \text{(Fig. 6)} \\ \text{Automatique} & F = \left.\begin{array}{c} 67{,}5 \\ 77{,}5 \end{array}\right\} + 5{,}8\,N. & \end{array}$$

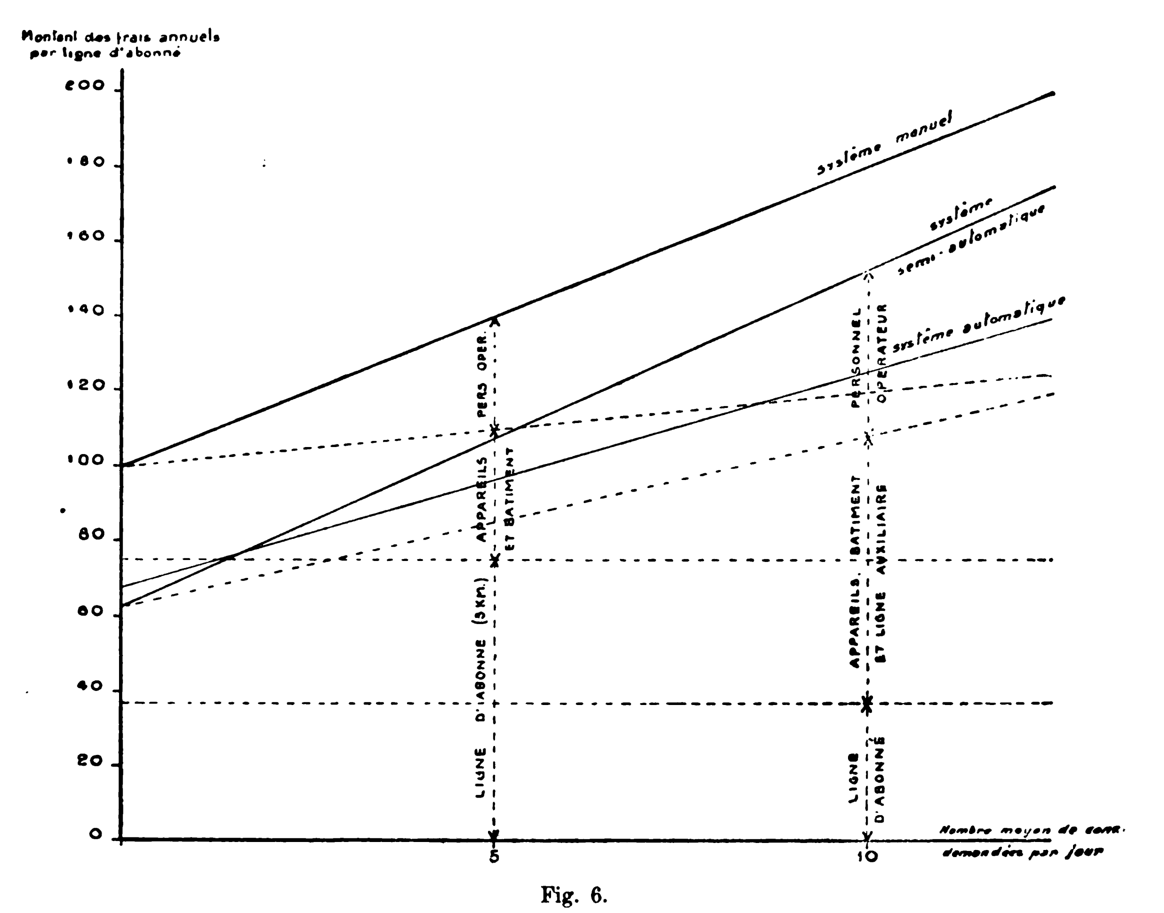


Fig. 6.

Frais annuels d'exploitation dans un réseau de 10.000 abonnés (1 bureau manuel, plusieurs bureaux automatiques) (ligne d'abonné supposée réduite de moitié).

On voit que dans ce cas le semi-automatique n'a plus d'intérêt que par le raccourcissement de la ligne, tandis que l'automatique réduit encore de près d'un tiers aussi bien la taxe par conversation que la redevance fixe.

Conclusions. — Il est facile de dégager les conclusions de cette étude, malheureusement trop succincte, et insuffisamment documentée encore sur beaucoup de points par suite de la date trop récente où la plupart des systèmes étudiés sont entrés dans la pratique. Au point de vue économique, l'automatique est nettement supérieur au manuel dans les réseaux moyens ou grands; le semi-automatique l'est également dans les grands réseaux, mais dans les réseaux moyens sa supériorité dépendra de la façon dont le plan pourra en être établi.

Au point de vue de la qualité du service fourni aux abonnés, les avis sont partagés en ce qui concerne la supériorité relative du semi-automatique, de l'automatique, et d'un bon service manuel, et il ne saurait y avoir à ce sujet une opinion qui prévaille actuellement partout. Mais il est à prévoir que selon la loi universelle du progrès, les difficultés d'ordre mécanique se résolveront une à une, les mécanismes se simplifieront et se perfectionneront, tandis que les difficultés de recrutement du personnel ne pourront que s'accroître avec l'amélioration générale des conditions sociales de la vie. Il ne paraît donc pas aventureux d'affirmer que l'avenir consacrera définitivement l'introduction de l'automatisme dans les manœuvres de la commutation téléphonique.

Qu'il me soit permis, en terminant, de rendre hommage aux travaux de MM. LEE CAMPBELL, STEIDLE, RAPS, etc., dont j' ai mis la lecture à profit.

DISCUSSION

M. le Major O' MEARA (Londres) *discute le rapport en général. Chaque personne qui a visité l'Amérique ne peut que formuler l'opinion que les systèmes manuels actuels seront bientôt remplacés par les systèmes automatiques ou semi-automatiques. La question est seulement de définir les conditions qui détermineront le choix du système automatique ou du semi-automatique. Il croit que le système semi-automatique sera*

adopté si le pourcentage des communications ou de la zône de tarif fixe est plus élevé que pour la zône même.

M. G. Di Pirro (Rome) *demande quelle a été la base des calculs développés dans le Rapport.*

M. H. Milon (Paris) *fait connaître les bases sur lesquelles il s'est appuyé pour calculer le prix de revient d'une installation automatique.*

$$P = 80 + 17\,N\,.$$

80, partie fixe, peut se décomposer comme suit:

50 Frs. pour le présélecteur, 20 Frs. pour le compteur, 10 Frs. pour la quote part relative au répartiteur et aux canalisations intérieures. 17 N, partie variable, a été calculée en supposant que dans un réseau à l'heure la plus chargée, on aurait au plus une chance sur 10.000 pour qu'un abonné appelant ne puisse obtenir des communications par suite de l'occupation de tous les sélecteurs d'un certain ordre. On compte 1200 Frs. pour le prix d'un ensemble, 1e, 2e, 3e sélecteurs et connecteurs avec les relais et "repeaters„ correspondants.

M. G. Di Pirro (Rome) *demande si les diagrammes de M. Milon donnent des résultats semblables à ceux qu'on déduit des diagrammes de M. Steidle.*

M. H. Milon (Paris) *répond que ses calculs sont légèrement plus favorables aux systèmes automatiques.*

M. M. Mac Grath (Rome) *demande comment sont établis les chiffres d'amortissement qui constituent un élément très important dans l'étude économique.*

Il voudrait savoir si l'élément de la dépréciation progressive a été compté, c'est-à-dire, si l'on a pris un amortissement plus grand pour les appareils installés vers la fin de la vie d'un bureau que pour ceux installés au commencement.

M. H. Milon (Paris) *fait connaître qu'il n'a pas supposé qu'au bout d'un certain nombre d'années, les appareils venant d'être mis en service en remplacement d'appareils usés, n'aient plus aucune valeur, mais que s'ils doivent servir à une autre installation, il faut seulement tenir compte des frais de déplacement, de recâblage, etc.*

Sezione VII

ACCUMULATORI - ELETTROCHIMICA ELETTROMETALLURGIA ED ALTRE APPLICAZIONI

Presidente	H. Beckmann	(Germania)
Vice Presidenti	A. Miolati	(Italia)
	S. A. Rumi	(Italia)
	W. Duddel	(Inghilterra)
Segretario	E. Boccardo	(Italia)

Gegenwärtiger Stand der Technik stationärer und transportabeler Accumulatoren.

Rapporto sul Tema N. 2 del Congresso.

Relatore Dr. H. BECKMANN (Berlin).

Wenn wir die Entwicklung des Accumulators von seinen ersten Anfängen her überblicken, so sehen wir, dass sich aus ungezählten Vorschlägen der Erfinder und Konstrukteure allmählich zwei Hauptarten von Accumulatoren herausgebildet haben, verschieden in ihren Anwendungsgebieten und in ihren Konstruktionserfordernissen. Fast gleichgiltig ist für stationäre Accumulatoren — abgesehen von ihrem materiellen Wert — in der Regel die Gewichtsfrage, die hingegen bei transportabelen Accumulatoren meistens von ausschlaggebender Bedeutung ist; ähnlich verhält es sich mit der Raumbeanspruchung, die bei stationären Accumulatoren eine weit geringere Rolle spielt als bei transportabelen. Da sich naturgemäss bei so verschiedenen Gesichtspunkten grundverschiedene Ausführungsformen ergeben haben, so möchte ich auch, gemäss den mir durch mein Thema gestellten Richtlinien diese beiden Gebiete der stationären und transportabelen Accumulatoren getrennt behandeln.

Zunächst Weniges über die heutigen *Konstruktionen* stationärer Accumulatoren. Die Zahl der marktfähigen Typen ist im Laufe der Zeit immer kleiner geworden, da unbrauchbare und minderwertige Konstruktionen von selbst ausgeschieden wurden. — Für die positive Platte (Fig. 1) wird meist eine Grossoberflä-

chenplatte in der bekannten Ausführung der Tudortype benutzt, seltener dagegen die mit Masse gefüllte Gitterplatte. In Amerika und England stellen einzelne Firmen die sogenannte Rosettenplatte her, bei welcher die erforderliche Oberfläche durch kleine, in eine Hartbleiplatte eingepresste Weichblei-Röllchen gebildet wird. Seit einigen Jahren sind aber auch diese Firmen dazu übergegangen, neben der älteren Konstruktion mehr und mehr die Tudortype einzuführen. Durch zweckmässige Verteilung der verfügbaren Bleimenge und durch peinliche Kontrolle in der Herstellung ist es heute gelungen, eine gute Lebensdauer der positiven Platte mit Sicherheit zu erreichen. Die negativen Platten (Fig. 2) wurden früher ausschliesslich als offene Gitterplatten hergestellt, eine Konstruktion, die auch heute noch von einigen Firmen beibehalten ist, während die Tudorgesellschaften allgemein die durch Patente geschützte Kastenplatte mit vorzüglichstem Erfolge einführten. Bekanntlich besteht die Kastenplatte aus zwei zusammengelegten, grossfeldrigen, mit Masse gefüllten Gittern, die nach aussen hin durch dünne perforierte Bleibleche verschlossen sind. Mit Einführung der Kastenplatte ist die Lebensdauer der negativen Platten auf das Mehrfache gegen früher gebracht; die Einführung der Kastenplatten bedeutet daher einen ganz ausserordentlichen Fortschritt in der Accumulatorenindustrie. Erwähnen möchte ich nur, dass es seit einigen Jahren nach Vorschlägen von Rodman und Bijour gelungen ist, auch brauchbare negative Grossoberflächenplatten herzustellen, die also in ähnlicher Weise wie die positiven Platten eine starke Unterteilung der Oberfläche besitzen und durch Formationsverfahren mit aktiver Schicht versehen werden.

Ausser durch stetige Verbesserung der Platten selbst gelang es vor einigen Jahren, die Brauchbarkeit des Accumulators dadurch wesentlich zu erhöhen, dass an Stelle der zur Trennung beider Plattensorten seither benutzten Glasröhren präparierte Holzbrettchen als Separatoren benutzt werden. Diese Brettchen vereinfachen einerseits ganz wesentlich die Wartung des Accumulators und wirken andererseits in eigenartiger Weise günstig auf die Lebensdauer der Negativen ein, indem durch chemische Prozesse gewisse Substanzen, die sich aus den Brettchen auslaugen, lösend und auflockernd auf das Gefüge des Bleischwammes der Negativen wirken. Die früher mit Recht so gefürchteten Kurzschlüsse werden durch die Brettchen, solange sie ihre mechanische Widerstandsfähigkeit besitzen und die

Platten genügend überdecken, ganzverhindert; die Beaufsichtigung einer Accumulatorenbatterie wird infolgedessen sehr vereinfacht. Der Umstand, dass unter normalen Verhältnissen Kurzschlüsse in dem Element ganz ausgeschlossen sind, trägt natürlich auch weiter dazu bei, die Haltbarkeit, besonders der positiven Platten, zu verbessern. Zur schnellen und sicheren Auffindung versteckter Kurzschlüsse habe ich seiner Zeit die Magnetnadel in besonderer Ausführungsform vorgeschlagen, die auch heute als *Kurzschlussfinder* benutzt wird und ebenfalls dazu beiträgt, die Ueberwachung der Batterie zu erleichtern.

Durch die verschiedenen Konstruktionsverbesserungen, besonders aber — das sei nochmals bemerkt — durch sachgemässe Anwendung der Holzbrettchen, ist der Accumulator zu einem ausserordentlich *betriebssicheren Apparat* in der heutigen Technik geworden.

Entsprechend seiner fortschreitenden Verbesserung hat sich nun auch natürlich für den Accumulator das Anwendugsgebiet im Laufe der Jahre ganz wesentlich ausgedehnt; dazu trug auch der Umstand bei, dass die Käufer immer mehr dazu übergingen, mit grossen, leistungsfähigen Accumulatorenfabriken *Instandhaltungsverträge* abzuschliessen, nach denen der Lieferant sich verpflichtet, gegen eine bestimmte, jährlich fällige Summe die Batterie in stets betriebsbereitem Zustande zu erhalten. Dadurch wurde es dem Batteriebesitzer ermöglicht, mit klaren, festen Zahlen für die Unterhaltung und Abschreibung seiner Batterie zu rechnen, was nicht wenig dazu beitrug, das Vertrauen zum Accumulator zu heben.

Zwei an sich verschiedene Verwendungsarten sind es besonders, in denen der stationäre Accumulator Benutzung findet, einmal als *Kapazitätsbatterie*, wo er bestimmt ist, zu beliebigen Zeiten die ihm erteilte Ladung in längerer Stromabgabe herzugeben, das andere Mal als *Pufferbatterie*, wo der Accumulator in erster Linie dazu dient, die kürzeren, heftigen Energieschwankungen des Verbrauchsnetzes nach Möglichkeit von der Erzeugeranlage fernzuhalten.

Zunächst hat der Accumulator als Kapazitätsbatterie vor allem zusammen mit Gleichstromzentralen Verbreitung gefunden, deren Hauptvorzug ja gerade darin liegt, dass sie die Möglichkeit

gewähren, elektrische Energie ohne Zwischenglieder in Accumulatoren aufzuspeichern und nach Bedarf abgeben zu können. Da es infolgedessen möglich ist, die Maschinen nach dem mittleren Verbrauch zu bemessen und zu betreiben, so trägt der Accumulator ganz wesentlich dazu bei, den Belastungsfaktor, dessen Bedeutung für die Rentabilität der Werke man gerade in den letzten Jahren immer klarer erkannt hat, zu verbessern. — Um im allgemeinen einen Begriff dafür zu geben, was für gewaltige Batterie-Leistungen heutzutage in manchen Elektrizitätszentralen und in ihren Unterstationen untergebracht sind, möchte ich nur erwähnen, dass bei dem Elektrizitätswerk der Stadt München 21 Batterien mit ca. 21 000 KWSt. dreistündiger Kapazität aufgestellt sind, dass bei den Hamburger Elektrizitätswerken 22 Batterien mit insgesamt 37 000 KWSt. stehen und dass bei den Berliner Elektrizitätswerken sogar 55 Batterien arbeiten, die eine Kapazität von etwa 81 000 KWSt. besitzen.

Die Accumulatorenbatterie braucht dabei naturgemäss nicht immer in der Zentrale ihren Platz zu haben; sie kann ebensowohl in der Unterstation oder auch beim Abnehmer als sogenannte *Anschlussbatterie* aufgestellt sein. Bei derartigen Anschlussbatterien kann es dann durch günstige Tarifbildung ohne weiteres erreicht werden, dass die Accumulatoren ausschliesslich zu Zeiten schwachen Verbrauches geladen werden und, unabhängig vom Hauptnetz, zur Zeit des stärksten Lichtbedarfes die Versorgung ihres Nebennetzes allein übernehmen. Sie tragen dadurch in ungemein erwünschter Weise dazu bei, das tägliche Maximum in der Beanspruchung der Zentrale zu verringern und den Verbrauch während der übrigen Zeit zu steigern. — Auch der Konsument kommt bei solchen Batterien auf seine Rechnung, da er auf diese Weise seinen Energiebedarf zu niedrigen Tarifsätzen decken kann; die Gesamtkosten, die er für Strombezug, einschliesslich Unterhaltung und Verzinsung der Batterie zu zahlen hat, stellen sich dann immer noch wesentlich niedriger, als wenn er den Strom direkt zu normalem Tarif entnähme. Mit Recht bezeichnet darum Dr. Thierbach in seinem kürzlich erschienenen Buche über die Elektrizitätswerke solche Anschlussbatterien als idealste Abnehmer der elektrischen Zentralen. Obendrein erwachsen durch Schaffung solcher Abnehmer dem Elektrizitätswerk in der Regel keinerlei neue Anlagekosten, da die Batterie vom Konsumenten selbst aufgestellt wird. Besonders in Grossstädten oder bei ausgedehnten Netzen haben

solche Anschlussbatterien Aufstellung gefunden; in Berlin z. B. sind heute im ganzen 50 solcher Anschlussbatterien mit 13 000 KWSt. dreistündiger Leistung an das Netz der Berliner Elektrizitätswerke angeschlossen, immerhin eine recht bedeutende Grösse des Aggregates, die wenn die Elektrizitätswerke sie selbst aufstellen müssten, bedeutende Kosten verursachten, so aber ohne Kosten zur Besserung des Belastungsfaktors wesentlich beitragen.

Ein anderes, ausgedehntes Anwendungsgebiet haben die Accumulatoren für *nächtliche Ausnutzung von Wasserkräften* gefunden. Ich möchte als typisches Beispiel dafür gerade eine Anlage aus Italien, in nächster Nähe hier von Turin erwähnen. Dort wurde zum Betrieb einer grossen Spinnereianlage seit langen Jahren die Wasserkraft der Dora benutzt. Als es dann aber durch Gesetz verboten wurde, Frauen, auf deren Arbeit die Fabrik angewiesen war, während der Nachtzeit in Fabrikbetrieben zu beschäftigen, blieb nichts übrig, als die Betriebszeit ausschliesslich auf die Tagesstunden zu verlegen und die Arbeitsfähigkeit der Fabrik zu verdoppeln. Um nun zu diesem Zweck das Wasser, das unausgenutzt während der Nacht vorbeiströmte, verwerten zu können, stellte man eine grosse Accumulatorenbatterie auf, die nachts geladen wird, tagsüber aber ihren Strom zur Unterstützung der Wasserkraft an die neuaufgestellten Arbeitsmaschinen abgibt. Diese Batterie, die, wie auch bei ähnlichen Anlagen in Deutschland, von sehr stattlicher Grösse ist, arbeitet seit etwa 6 Jahren zur vollen Zufriedenheit des Besitzers.

Wenn nun die vorbeschriebenen Batterien fast ausschliesslich dazu dienen, die *Wirtschaftlichkeit* einer Anlage zu erhöhen, so liegt ein weiteres, bedeutendes Benutzungsgebiet des Accumulators in seiner Anwendung als *Moment-Reserve* für solche Fälle, in denen unvorhergesehen plötzlich eine Störung in der gewöhnlichen Energieversorgung eintritt und wo dann der Accumulator seinerseits die Stromlieferung, etwa für Theater, Krankenhäuser, Festsäle und dergl. ohne Stockung zu übernehmen hat. Es lässt sich ohne Uebertreibung behaupten, dass kein anderes Betriebsmittel so schnell und sicher ohne jede Vorbereitung in solchen Fällen einspringen kann, wie es die geladene Accumulatorenbatterie jederzeit zu tun vermag. — Handelt es sich z. B. darum, eine *Notbeleuchtung* durch Accumulatoren zu betreiben, so können entweder transportabele

Einzelbatterien angewandt werden, oder es kann eine einzige stationäre Batterie als Stromquelle für alle Beleuchtungskörper gleichzeitig dienen. Bei Verwendung von transportabelen Einzelbatterien bringt man meist besondere Relais an, mit Hilfe deren die Notbeleuchtung in Tätigkeit gesetzt wird, wenn die gewöhnliche Stromquelle versagt. Die stationäre Notbeleuchtung liegt meist parallel mit der Dynamo am Netz, in der Weise auf die Verbrauchsspannung einreguliert, dass die Batterie sich für normale Fälle an der Stromlieferung nicht beteiligt, vielmehr erst zum Eingriff kommt, wenn der Dynamostrom ausbleibt, die Netzspannung also ein wenig sinkt.

In gleicher Art wirken natürlich auch solche Batterien, die als *Momentreserve für Kraftlieferung* dienen; eine der grössten Batterien der Welt steht z. B. im Walzwerk zu Peine (Provinz Hannover), das seinen gesamten Kraftbedarf von der mehrere Kilometer entfernt liegenden Grosskraftzentrale der Ilseder Hütte in Form von hochgespanntem Drehstrom bezieht. Die Batterie dient hier ausschliesslich als Notreserve für den Fall, dass während einer Charge plötzlich der Drehstrom der Fernleitung ausbleiben sollte; ein derartiges Versagen, gerade in dem Augenblick, wo geblasen wird, würde unberechenbare Folgen haben, grosse Werte vernichten und Menschenleben gefährden.

In ganz ähnlicher Weise dienen als Reserven für unvorhergesehene Störungen auch die mächtigen Batterien, die in den letzten Jahren in den Zentralen der amerikanischen Commonwelth Edison Company aufgestellt sind und die den Zweck haben, für kurze Zeit den Gesamtbedarf oder einen Teil des Netzes zu decken, wenn entweder die Ansprüche unvorhergesehen ins Riesenhafte wachsen oder die Stromlieferung der Erzeugerstation plötzlich irgendwie stockt. In New York sind 44 solcher gewaltigen Reservebatterien aufgestellt von zusammen 32 000 KWSt. einstündig. Ihre Kraft genügt, um zur Zeit des Maximalbedarfes den gesamten Energiestrom während etwa 20 Minuten aufrecht zu erhalten, zur Zeit mittleren Verbrauches jedoch für etwa 2 Stunden das Netz allein zu speisen. Als im März 1911 unerwartet über New York ein Schneesturm hereinbrach und die Stadt schnell in Dunkel hüllte, war es nur mit Hilfe dieser Reservebatterien möglich, den ganz ausserordentlich gesteigerten Betriebserfordernissen gerecht zu werden (Fig. 7); etwa 17 000 KW. mussten die Reservebatterien leisten und

25 Batterien wurden durch diese Entnahme in kurzer Zeit entladen. Man könnte nun gegen die Anwendung solcher grosser Reservebatterien einwenden, dass es verhältnismässig wenig Bedeutung hätte, den Betrieb mit Hilfe der Batterien um weitere 20 Minuten aufrecht zu erhalten. Demgegenüber ist indessen zu betonen, dass diese Zeit meist genügt, um inzwischen weitere Betriebsmaschinen in Gang zu setzen und auf diese den Konsum zu übernehmen. Ausserdem merkt aber auch der Abnehmer am allmählichen Herabgehen der Spannung, wenn die Batterien sich zu entladen beginnen, dass Lichtmangel vorhanden ist. Es können deshalb auch von Seiten des Publikums in Ruhe alle Vorkehrungen getroffen werden für den Fall, dass nach Erschöpfung der Batterien das Licht ganz ausbleiben sollte. In Amerika hat man, wie ich hörte, den Nutzen dieser gewaltigen Reservebatterien besonders auch dadurch gespürt, dass Regressansprüche, die wegen Versagens des Lichtes sonst von Warenhäusern, Juwelierläden u. dergl. erhoben wurden, nach Aufstellung dieser Reservebatterien ganz wesentlich zurückgegangen sind. — Bei Batterien dieser Art pflegt man eine ganz ausserordentliche Ueberschreitung des sonst für Accumulatoren zulässigen Stromes zu gestatten. Es wird die Entnahme von Entladeströmen erlaubt, die das drei- bis vierfache des einstündigen Entladestromes darstellen und die in wenigen Minuten die gesamte Batterie zu erschöpfen vermögen. Bei dieser übermässigen Anstrengung ist jedoch zu bedenken, dass diese Reservebatterien auch nur verhältnismässig selten zum Eingriff kommen, in der Regel nicht mehr als 20 bis 30 mal im Jahre. Infolgedessen ist die Lebensdauer dieser Art Elemente, trotz der äusserst starken Stromentnahme doch sehr gut, und man kann darum bei Aufstellung einer Rentabilitätsberechnung mit einer verhältnismässig geringen Amortisationsquote für solche Reservebatterien rechnen.

Wesentlich verschieden von der Arbeitsweise der bis jetzt genannten Batterien ist die Wirkung der *Pufferbatterien*, die bekanntlich dazu dienen, Belastungsstösse von den Generatoren fernzuhalten und Spannungsschwankungen im Netz auszugleichen. Die weiteste Verbreitung hat diese Art von Batterien als Ausgleichsaggregat bei Strassenbahnen überall in der Welt gefunden, aber auch bei Aufzügen, Förderanlagen, Walzwerken und ähnlichen Betrieben mit stark schwankendem Kraftverbrauch sind Pufferbatterien vielfach eingeführt. Die wirtschaft-

lichen und technischen Vorteile und Annehmlichkeiten, die auf diesem Gebiete die Anwendung der Accumulatorenbatterien mit sich bringt, sind unbestritten und brauchen wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden. Unterstützt wird neuerdings dies ausgleichende Eingreifen der Batterien noch durch verschiedene Schaltungen und durch Anwendung besonderer Pufferdynamos, die dazu bestimmt sind, den Belastungsausgleich möglichst vollkommen zu machen und die Netzspannung noch gleichmässiger zu erhalten, als es mit der Batterie allein möglich ist. Ich nenne da nur die selbsttätigen, umkehrbaren Zusatzmaschinen nach System Pirani, das System Highfield-Lancashire, das in England vielfach angewandt wurde, und den Entz-Booster, der in erster Linie in den Vereinigten Staaten in Benutzung gekommen ist. Neuerdings haben speziell für Wechselstrompufferung Woodbridge in Amerika und Schröder in Deutschland Pufferschaltungen mit besonderen Hilfsmaschinen angegeben, die sich in der Praxis vorzüglich bewährten.

Während sich auf dem Gebiete der Strassenbahnen fast ausschliesslich Gleichstrom von 500 bis 600 Volt unter Verwendung von Accumulatoren als Pufferbatterien einführte, wurde zum Betriebe elektrischer Vollbahnen fast nur Einphasenstrom gewählt. Eine Pufferung durch Batterie ist hier naturgemäss komplizierter und weniger ökonomisch als bei Gleichstrom, obwohl die Batteriepufferung auch da sicherlich sehr am Platze wäre und gute Ergebnisse zeitigen würde, da die bei Vollbahnen auftretenden Stromschwankungen im Verhältnis wesentlich grösser sind als bei Trambetrieb und darum ein Ausgleichsaggregat in Form einer Batterie doppelt wünschenswert erscheinen lassen; besonders trifft dies für Bahnlinien mit starken Steigungen zu. Auch die Momentreserve, welche eine Accumulatorenbatterie bietet, ist für den Vollbahnbetrieb von nicht zu unterschätzender Bedeutung, zumal wenn die Energie, wie des meistens der Fall ist, von weit entfernt gelegenen Zentralen hergeleitet wird und daher die Gefahr von Betriebsunterbrechungen besonders gross ist. Man darf deshalb wohl hoffen, dass auch für Vollbahnbetrieb mit Wechselstrom die Accumulatoren sich noch ein erhebliches Anwendungsgebiet erobern werden.

Seinerzeit wurde die Einphasenstrecke Seebach—Wettingen mit Accumulatoren ausgerüstet, ebenso ist für die Wiesentalbahn, die mit Einphasenstrom betrieben werden soll, die Aufstellung einer Pufferbatterie beschlossen. Von diesen Aus-

nahmen und einigen älteren Gleichstrombahnen abgesehen, hat bis heute die Batterie für Vollbahnen leider noch keine hinreichende Anwendung gefunden, vor allem wohl deshalb, weil der Einphasenstrom, bei dem man sich noch nicht an Batteriebenutzung gewöhnt hat, bis vor kurzem als einzig mögliche Betriebsart für Vollbahnen angesehen wurde. Es steht indessen zu erwarten, dass hier, wenigstens teilweise, ein Umschwung der Ansichten eintreten wird, da man bekanntlich in Amerika, woher uns der Einphasenstrom zuerst kam, neuerdings für viele Strecken anstelle des Einphasenstromes den hochgespannten Gleichstrom von 1200—1500 Volt eingeführt hat. Bei einigen amerikanischen Einphasenbahnen ist man nachträglich unter Umänderung des Systems zu Gleichstrom übergegangen. Speziell von der Strecke Washington, Baltimore und Annapolis liegen heute schon vergleichende Betriebsergebnisse vor, aus denen sich ergibt, dass durch Einführung des Gleichstromes anstelle des Einphasenstromes der Kraftverbrauch pro Wagenmeile von 5,9 Cents auf 3,8 Cents gefallen ist; die Gesamtbetriebskosten verminderten sich von 23,8 Cents pro Wagenmeile auf 19 Cents. Auch die ungarische Eisenbahnverwaltung ist, wie es scheint, für hochgespannten Gleichstrom eingenommen, da sie gegenüber nur einer Strecke mit Einphasenstrom drei ausgedehnte Strecken mit hochgespanntem Gleichstrom ausgerüstet oder deren Bau begonnen hat. Da es nun ohne nennenswerte Schwierigkeit gelang, für derartige Spannungen auch Pufferbatterien aufzustellen, so eröffnet sich hier für Batterien ein neues und aussichtsvolles Anwendungsgebiet. In den letzten Jahren wurden auch bereits mehrere solche *Hochspannungs-Pufferbatterien* in Bahnanlagen aufgestellt, so bei den schon erwähnten Bahnen in Ungarn, ferner in Deutschland, in der Schweiz und ebenso auch bei den Ueberlandbahnen hier in Italien, und zwar wurden in Italien zwei Batterien für die Linien Brescia—Salò, eine für die Tramvie elettriche Briantee in Meda, eine für die Bahn Stresa—Motterone geliefert und eine für die Tramvie Torino—Rivoli bestellt. Ich bin überzeugt, dass die Ergebnisse mit dieser Betriebsart weiter, wie bisher, durchaus befriedigen werden und dass sich für viele Strecken, besonders aber für Zwischenstadtbahnen und Stadtbahnen, der hochgespannte Gleichstrom mit Batteriepufferung dem Einphasenstrom wirtschaftlich und technisch als wesentlich überlegen erweisen wird.

Bei Besprechung dieser Bahnpufferbatterien möchte ich noch als besonderes Anwendungsgebiet der Accumulatoren die sogenannten gleislosen Bahnen nicht unerwähnt lassen, die gerade auch in Italien unter dem Namen der Filovien mehrfach Anwendung gefunden haben. Bislang gibt es hier, soviel mir bekannt ist, 10 solcher Bahnen, die ausnahmslos mit Pufferbatterien arbeiten, um die Unregelmässigkeiten der Belastungsstösse, die sich bekanntlich in kleinen Anlagen besonders bemerkbar machen, auszugleichen.

Endlich bleibt noch die Anwendung der Batterien in Dreh- und Wechselstromanlagen im allgemeinen zu erwähnen, die jedoch leider bis heute noch verhältnismässig gering, ich möchte sagen zu gering ausgefallen ist, obwohl die vorhandenen Schaltungen und auch die praktischen Ergebnisse über den Ausgleich der Schwankungen in Wechselstromanlagen durchaus gut sind. Ich bin überzeugt, dass, nachdem die Leiter der Wechselstromzentralen mehr Gelegenheit gehabt haben, sich mit Batterien zu befreunden, auch hier das Anwendungsgebiet der Accumulatoren sich noch sehr verbreiten wird. Abgesehen von der Verwendung des Accumulators in Wechselstromanlagen als *Ausgleichsaggregat* ist noch seine Benutzung als *Erregerbatterie* zu erwähnen, die sich bekanntlich in vielen Wechselstromzentralen eingeführt hat und gleichzeitig ausser für die Erregung auch zur Sicherung der Beleuchtung der Zentrale, zum Betrieb der Fernschalter und dergleichen dient. Damit, denke ich, dürfte in grossen Zügen das Gebiet der stationären Batterien überblickt sein und ich wende mich darum weiter zu der Besprechung der transportabelen Accumulatoren.

Ueber die *Konstruktionen* der *transportablen Elemente* lässt sich schwerlich Zusammenfassendes in Kürze sagen, da, entsprechend den ausserordentlich verschiedenen Anforderungen, die gerade an transportabele Batterien, je nach Verwendungsart, gestellt werden, auch die Konstruktionen von Grund auf andere sind. Im allgemeinen sei nur bemerkt, dass bei grossen, transportabelen Elementen in der Regel Grossoberflächenplatten als Positive benutzt werden, während bei Kleinaccumulatoren fast ausschliesslich Gitter- oder Gittermasseplatten für positive wie auch für negative Platten Anwendung finden.

Als besondere Konstruktionsart möchte ich hier noch kurz den alkalischen Accumulator erwähnen, der nach den Ausführungen von Edison, Jungner und anderen auf den Markt gebracht wird und wohl ausschliesslich als transportabele Stromquelle in Betracht kommt; auf eine nähere Besprechung möchte ich bei dieser kurzen Uebersicht indessen verzichten.

Bis vor wenigen Jahren handelte es sich bei transportabelen Accumulatoren immer um verhältnismässig kleine Elemente, von denen einige Zellen zu kleinen Batterien vereinigt waren, etwa zum Betrieb von Musikautomaten, kleinen Beleuchtungsanlagen, Zündapparaten und dergl. Inzwischen sind aber transportabele Batterien recht stattlicher Grösse in Vollbahntriebwagen, Lokomotiven, Unterseeboten, Luxusbooten und Automobilen zur Verwendung gekommen und haben dort dem Accumulator ein neues, ungeahnt weites Feld eröffnet.

Die *Accumulatorentriebwagen* für Vollbahnen erfreuen sich besonders in Deutschland sehr grosser Beliebtheit; in grösserem Masse auf den preussischen Bahnen sie eingestellt zu haben, ist bekanntlich das Verdienst des Herrn Geheimen Oberbaurat Wittfeld, nach dessen Vorschlag die Batterie ihren Platz aussen an den Kopfenden des Wagens gefunden hat. Ein solcher Wagen vermag mit einer Ladung eine Strecke von etwa 100 km zu durchfahren; seine Batterieleistung entspricht bei 168 Zellen etwa 120 KWSt. Die ersten Versuche in Deutschland wurden auf der Pfalzbahn im Jahre 1896 unternommen; diese Versuche ergaben ein günstiges Resultat, sodass sich die Pfalzbahn entschloss, weitere Wagen dieser Art einzustellen, die gleichfalls zur vollen Zufriedenheit arbeiten; zur Zeit versehen 6 Accumulatorenwagen auf der Pfalzbahn den Dienst und werden vorzugsweise zur Verdichtung des Vorortverkehrs benutzt. Im Jahre 1907 wurden dann Versuche von der preussischen Staatsbahn in Mainz mit 5 Wagen aufgenommen, und auf Grund der günstigen Erfahrungen, die man auch dort sammelte, stellte die preussische Staatsbahn zunächst 57 Triebwagen ein. Im Laufe der Zeit sind dann, da die Ergebnisse auch weiterhin durchaus befriedigten, Nachbestellungen gemacht, sodass im ganzen 135 Accumulatorentriebwagen in nächster Zeit auf den preussischen Bahnen laufen werden. — Gegenüber den Triebwagen

mit Benzin- oder Benzolmotoren, über die längere praktische Erfahrungen bis heute wohl kaum vorliegen, haben die Accumulatorenwagen den grossen Vorteil der Einfachheit, Betriebssicherheit und grösserer Wirtschaftlichkeit. Ich bemerke noch, dass auf der Turiner Ausstellung in der Verkehrshalle auch 2 solche Triebwagen ausgestellt sind, die nach Schluss der Ausstellung den italienischen Staatsbahnen zu Versuchszwecken zur Verfügung gestellt werden. — Zum Antrieb von *elektrischen Lokomotiven* im allgemeinen wird der Accumulator heute vielfach bei der Staatsbahn und bei grossen industriellen Werken für Rangierzwecke und in Bergwerken zu Förderzwecken benutzt. neuerdings besonders auch bei führerlosen Lokomotiven.

In den *Unterseebooten* hat sich der Accumulator bis heute ohne erfolgreiche Konkurrenz zum Antrieb der Motoren während der Unterwasserfahrt behauptet. Auch hier sind es recht bedeutende Batterien, um die es sich dabei handelt; jedoch sind bis heute die Anforderungen und Ansichten der Konstrukteure so verschieden, dass man von einer einheitlichen Type und Typengrösse noch in keiner Weise sprechen kann. Die Anforderungen, die an Accumulatoren in Unterseebooten gestellt werden, sind in Bezug auf Raum, Gewicht und Betriebssicherheit naturgemäss bis aufs Aeusserste geschraubt, sodass es nur solchen Fabriken gelungen ist, hier dauernde Erfolge zu erzielen, deren Konstruktionen den schärfsten Anforderungen zu entsprechen vermochten. Nähere Angaben über dieses Anwendungsgebiet der Accumulatoren zu machen verbietet sich von selbst.

Eine schöne und viel versprechende Entwicklung nimmt auch die Verwendung des Accumulators für *Elektromobile*. Natürlich ist es von vornherein klar, dass ein elektrisches, mit Accumulatoren betriebenes Fahrzeug niemals das Benzinautomobil verdrängen kann; schon der begrenzte Aktionsradius des Elektromobils macht das ja unmöglich. Für bestimmte Zwecke aber, wie z. B. Lieferungswagen, Selbstfahrer, Stadtdroschken und dergl. hat der elektrische Wagen vor dem Benzinautomobil so unbestreitbare Vorteile in seiner Einfachheit, Geräuschlosigkeit und Geruchlosigkeit, dass die Elektromobile hier notwendig ein weites Feld finden müssen, besonders in solchen Gegenden, in denen die elektrische Energie billig ist. Elektrische Last- und Lieferungswagen für Warenhäuser werden heute in den verschiedensten Grössen für eine Tragkraft von 0,5 bis 5 Tonnen gebaut. Die deutsche Reichspost benutzt Automobilwagen mit

Accumulatorenbetrieb für die Bestellung der Pakete, elektrische Dreiräder zum Entleeren der Postkästen; im kommunalen Betrieb werden elektrische Löschzüge, Krankenwagen, Strassenspreng- und Waschmaschinen und ähnliche Fahrzeuge vielfach benutzt. Allgemein haben die Fahrzeuge sich aufs Beste bewährt; besonders sind da gute Resultate erzielt worden, wo die Ueberwachung und Instandhaltung der Accumulatoren in den sachverständigen Händen der liefernden Fabrik liegt, die gegen bestimmte, für das Kilometer zu zahlende Gebühr für die Unterhaltung aufzukommen hat. — Unvergleichbar viel schneller als in Europa hat sich das *Elektromobil in Amerika* in verhältnismässig kurzer Zeit einen bedeutenden Markt erobert. Am Anfang des Jahres 1910 liefen in St.-Louis 340 elektrische Fahrzeuge; für die Aufladung dieser Automobile waren etwa 60 Gleichrichter im Betriebe. In Cleveland waren es sogar 1800 Elektromobile, die in etwa 600 Ladestationen Strom aus den Elektrizitätswerken entnahmen, grösstenteils unter Umformung mit Hilfe des Quecksilberdampf-Gleichrichters. Rockford eine Stadt von ungefähr 45 000 Einwohnern besitzt nicht weniger als 170 Elektromobile; in Chicago wurde die Zahl auf 3000 und im Staate New York sogar auf 7000 Elektromobile geschätzt. Dieser ausserordentlichen Entwicklung gegenüber ist die Einführung des Elektromobils in Europa immerhin noch sehr im Rückstande geblieben; so beträgt schätzungsweise die Gesamtzahl der in Deutschland betriebenen Elektromobile nur etwa 1200 bis 1500, also nicht soviel wie z. B. allein in Cleveland laufen. Man fragt sich unwillkürlich, auf welche besonderen Verhältnisse dieser ausserordentliche Aufschwung in Amerika zurückzuführen sei. Abgesehen von den lokalen Verhältnissen ist die Entwicklung ohne Zweifel dadurch veranlasst, dass in Amerika alle beteiligten Kreise von vornherein eine äusserst rührige Agitation für Elektromobile betrieben, nachdem allgemein die Vorteile, die eine Verwendung des elektrischen Automobils mit sich bringt, erkannt waren. — In erster Linie bemühten sich in Amerika die Leiter der elektrischen Zentralen für die Einführung des Elektromobils, nicht minder auch Fachzeitschriften, so besonders die Electrical World, die durch Rundfragen und regelmässige Artikel immer wieder auf die *Bedeutung des Elektromobils für die gute Ausnutzung* der elektrischen Zentralen hinwies. Man erkannte bald, dass jedes elektrische Fahrzeug ein sehr erwünschter und bedeutender

Stromabnehmer ist. Der Jahresverbrauch eines 5 Tonnen Elektromobils beträgt zum Beispiel 12 000 KWSt.; das würde schätzungsweise einem Anschlusse von etwa 1300 Glühlampen à 25 Normalkerzen entsprechen. Eine Elektromobil-Stadtdroschke verbraucht im Jahre durchschnittlich 10 000 KWSt., was wiederum einem Lampenanschluss von etwa 1100 Lampen entsprechen würde. Man sieht, um was für bedeutende Zahlen es sich hier für ein Elektrizitätswerk handeln kann, wenn es gelingt, in einer Stadt eine grössere Anzahl Elektromobile zur Einführung zu bringen. Nun lässt es sich aber ferner ohne weiteres durch geeignete Tarife erreichen, dass die Elektromobile nur zu bestimmten Stunden, in denen die Belastung des Werkes schwach ist, aufgeladen werden, während die Zeit der Spitzenbelastung von der Aufladung der Elektromobilbatterien ganz frei gelassen wird. Die Stromentnahme selbst ist zudem während der Zeit der Aufladung fast ganz gleichmässig, Stromschwankungen kommen, abgesehen vom Ein- und Ausschalten, überhaupt nicht vor. — Sind also in einer Stadt Elektromobile in nennenswerter Zahl im Betriebe, so schaffen diese eine geradezu ideale Belastung für das Elektrizitätswerk und dienen, wie kaum ein anderer Verbraucher dazu, den *Belastungsfaktor des Werkes* wesentlich zu *verbessern.* Gerade diese Tatsache wurde in Amerika von vornherein richtig erkannt, und veranlasste besonders die Leiter der Elektrizitätswerke, sich mit Eifer für die Einführung der Elektromobile ins Zeug zu legen. In Cleveland verbrauchen die 1800 Elektromobile im Jahre rund 2 500 000 KWSt. Das Elektrizitätswerk rechnet dabei mit einer Einnahme von 60 bis 70 Dollar pro Jahr und Automobil. — Die elektrische Energie, die in einer anderen Stadt von weniger als 300 000 Einwohnern zur Ladung von Elektromobilen im Jahre 1909 abgegeben wurde, betrug im Monatsdurchschnitt 46 000 KWSt.; und wie bemerkt, wird fast das gesamte Quantum der Stromentnahme zur Zeit niedriger Belastung entnommen. Zu betonen ist ausserdem, dass durch diese Verbesserung des Belastungfaktors dem Elektrizitätswerk in der Regel keinerlei Anlagekosten erwachsen. — Ich bin überzeugt, dass indessen auch in *Europa* die Verbreitung des Elektromobils in der nächsten Zeit wesentliche Fortschritte machen wird, wenn mehr erkannt wird, was für ein vorzüglicher Abnehmer das Elektromobil für die Elektrizitätswerke neben seinen sonstigen, anerkannt guten Eigenschaften sein kann.

Wie für Automobile, so eignet sich der Accumulator auch vorzüglich als Kraftquelle zum Antrieb von elektrischen Booten, die sich vor allem durch ihren auffallend ruhigen und gleichmässigen Gang, leichte Steuerfähigkeit und schmuckes Aeussere auszeichnen.

Zu einem aussichtsreichen Anwendungsgebiet für Accumulatoren ist heute auch die elektrische Zugbeleuchtung in allen Kulturländern geworden, besonders weil bei dieser Beleuchtungsart, gegenüber dem Gaslicht, die Feuersgefahr ganz beseitigt ist. Auf die verschiedenen Systeme kann ich hier natürlich nicht eingehen; nur möchte ich kurz erwähnen, dass zunächst das alte System der reinen Batteriebeleuchtung in Italien weiteste Verbreitung gefunden hat, während man sich hingegen in anderen Ländern vielfach für ein System entschieden hat, bei dem die Speisung des Lampenstromkreises durch eine von der Wagenachse aus angetriebenen Dynamo geschieht, der eine Accumulatorenbatterie parallel geschaltet ist. Eine besondere Vervollkommnung hat dieses System durch die Verwendung der Rosenberg-Dynamo erlangt. Die Erfahrung, die mit diesem System der elektrischen Zugbeleuchtung vorliegen, sind in jeder Beziehung befriedigend.

Schliesslich möchte ich noch kurz auf die steigende Verwendung der kleinen transportabelen Accumulatoren für *Notbeleuchtung*, zum *Betriebe von Schaltapparaten*, als *Ersatz für Primärelemente* und auf ihre Verwendung für *Hand- und Grubenlampen* hinweisen. So einfach und naheliegend die Verwendung elektrischer Handlampen für die Grubenbeleuchtung eigentlich zu sein scheint, so gelang es doch, soweit mir bekannt ist, trotz aller Anstrengung bis vor kurzem nirgends, die elektrische Grubenlampe in grossem Masse zur Einführung zu bringen. Erst in den letzten Jahren hat eine deutsche Gesellschaft mit Erfolg auf diesem Gebiete gearbeitet. Sie verfolgt dabei den Grundsatz, dass sie den Zechen die Unterhaltung der Accumulatorenlampen ganz abnimmt und ihrerseits gegen eine feste Gebühr für die stete Betriebsbereitschaft der Lampen sorgt. Hierdurch ist eine sachgemässe Behandlung der Accumulatoren gesichert, und es ist zu hoffen, dass auch auf diesem Gebiete durch Verwendung von Accumulatoren erfreuliche Ergebnisse und Erträgnisse erzielt werden.

Zum Schlusse möchte ich mit einigen Daten die ökonomische Seite der Accumulatorenfabrikation berühren. Der Umsatz an Accumulatoren auf der ganzen Welt betrug im Jahre 1910 nach meiner Schätzung etwa 60 Millionen Mark; der weitaus grösste Teil hiervon entfällt auf die Tudorfabriken, die fast in allen Industrieländern nationale Fabriken besitzen. Insgesamt dürften etwa 75 % der Weltproduktion an Accumulatoren auf die Tudorfabriken entfallen. In den Accumulatorenfabriken werden, alles im allem, ungefähr 13 000 Menschen beschäftigt. Die gesamte Bleimenge, die für Accumulatoren in der ganzen Welt jährlich zur Verarbeitung kommt, kann mit 70 000 Tonnen geschätzt werden.

So hat sich denn die Accumulatorenfabrikation im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einem beachtenswerten und wichtigen Gliede der gesamten elektrischen Industrie herausgebildet und den elektrischen Batterien in mannigfachsten Anwendungsgebieten Verbreitung über die ganze Welt verschafft.

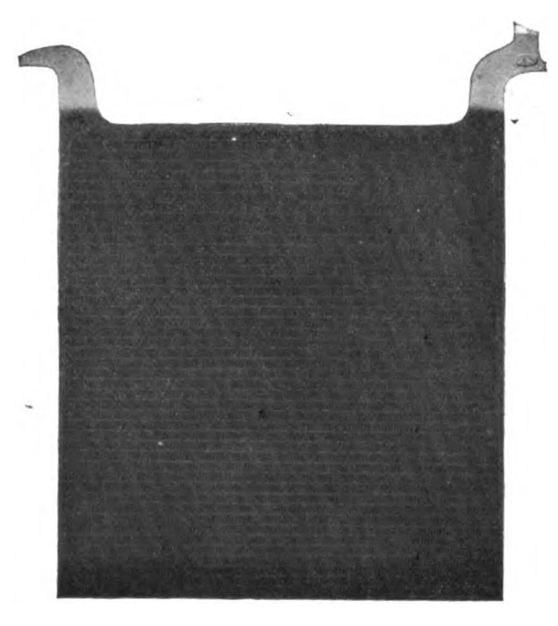


Fig. 1. — Positive Grossoberflächenplatte.

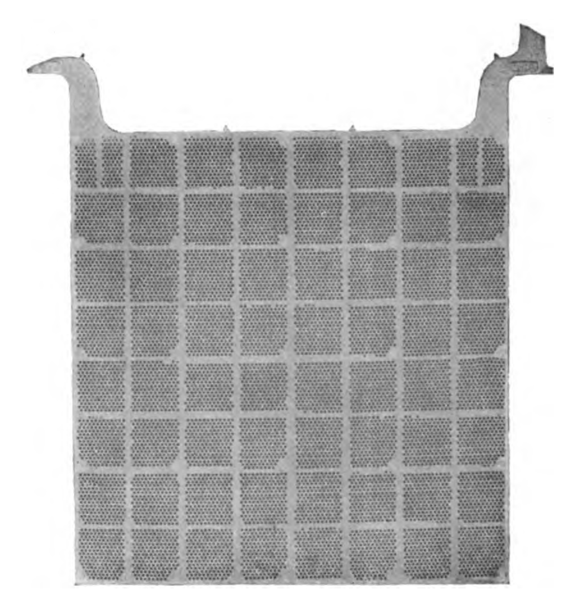


Fig. 2. — Negative Kastenplatte.

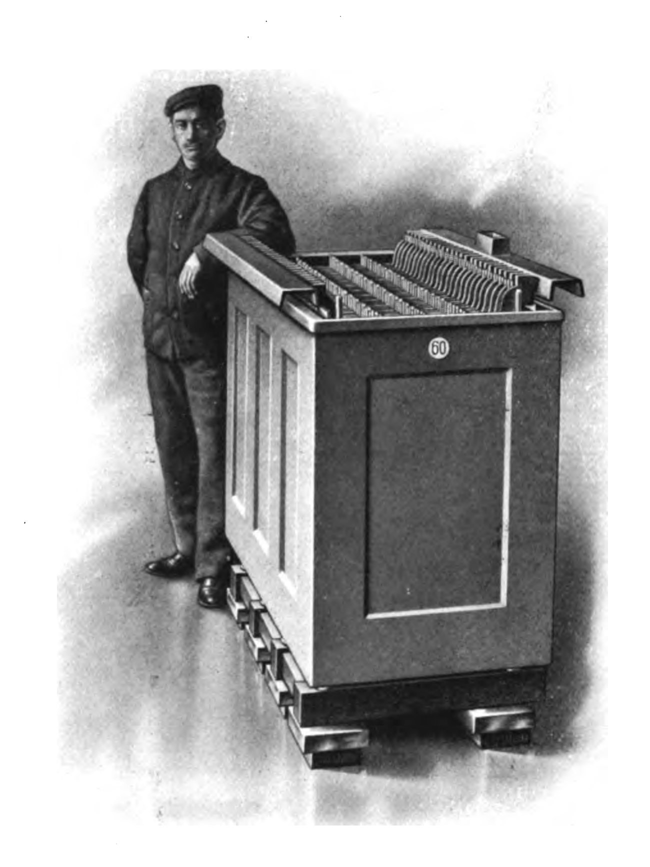


Fig. 3. — Stationärer Accumulator in Holzkasten.

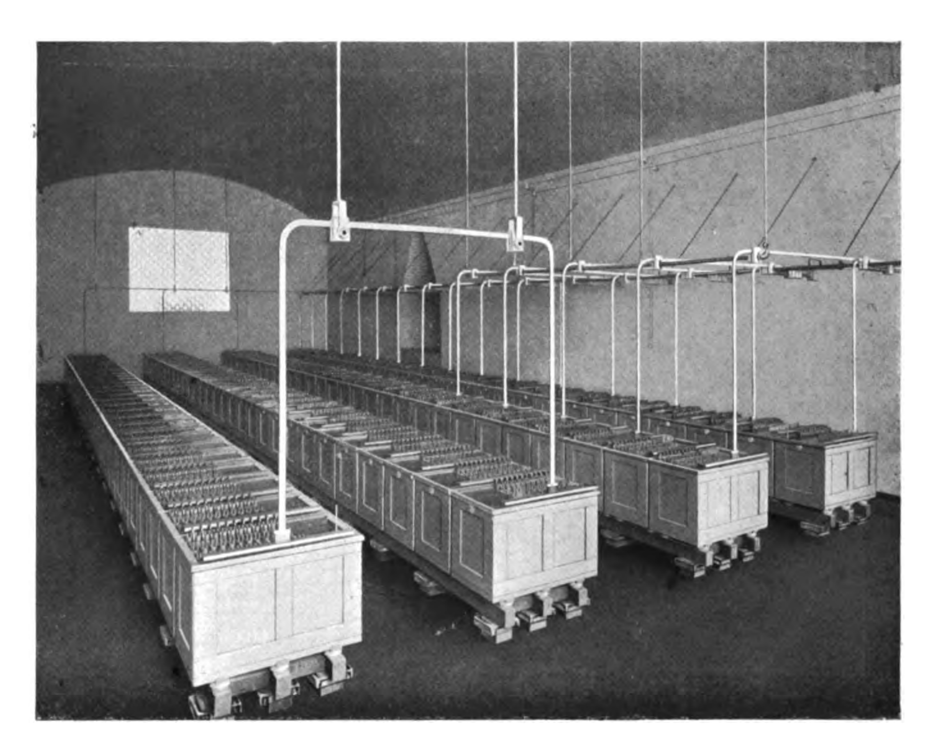


Fig. 4.
Batterie für einen Bahnhof (120 Elemente, 1452 Ampèrestunden 7 1/2 ständig).

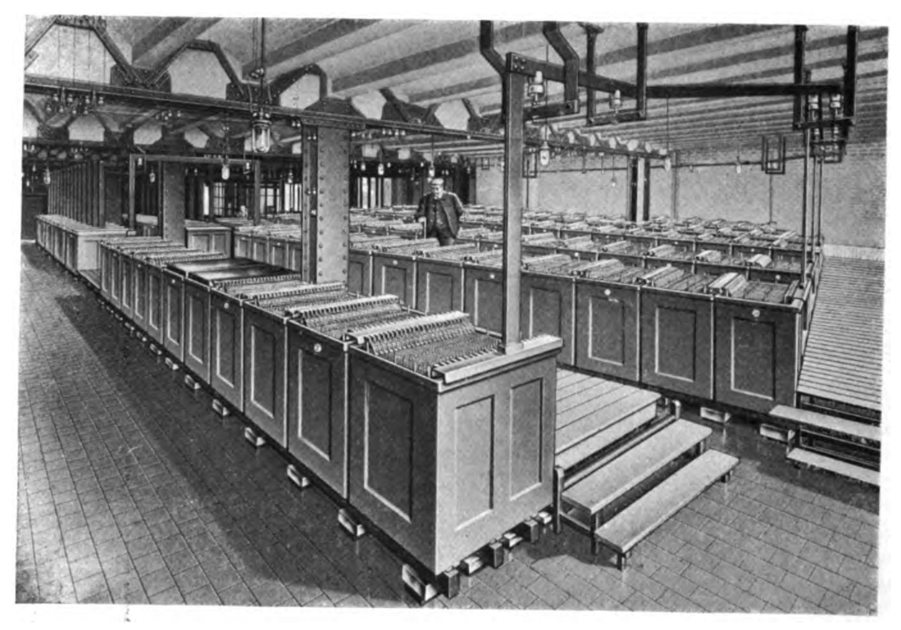


Fig. 5. — Batterie « Alte Jakobstrasse » der Berliner Elektrizitäts-Werke (3 Batterien von je 140 Elementen und je 7776 Ampèrestunden dreistündig).

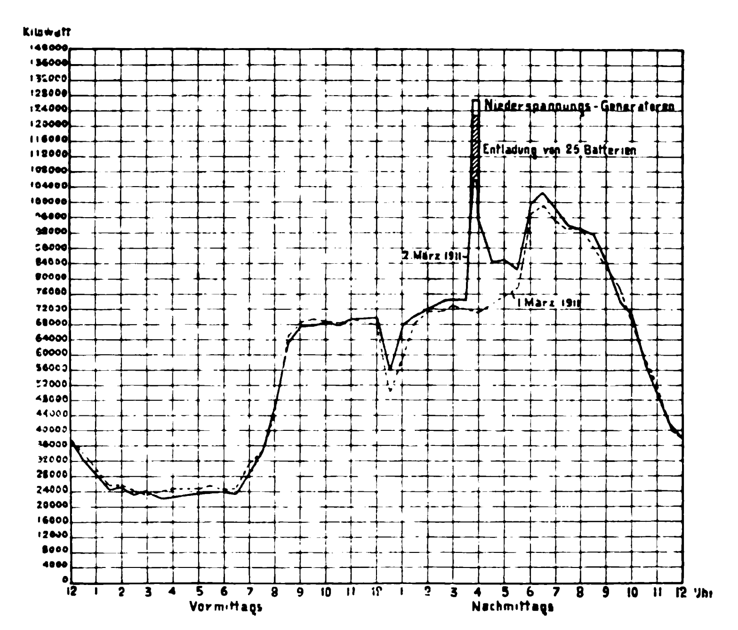


Fig. 6. — Belastungskurven der Centralen der New-York Edison Co. am 1. und 2. März 1911.

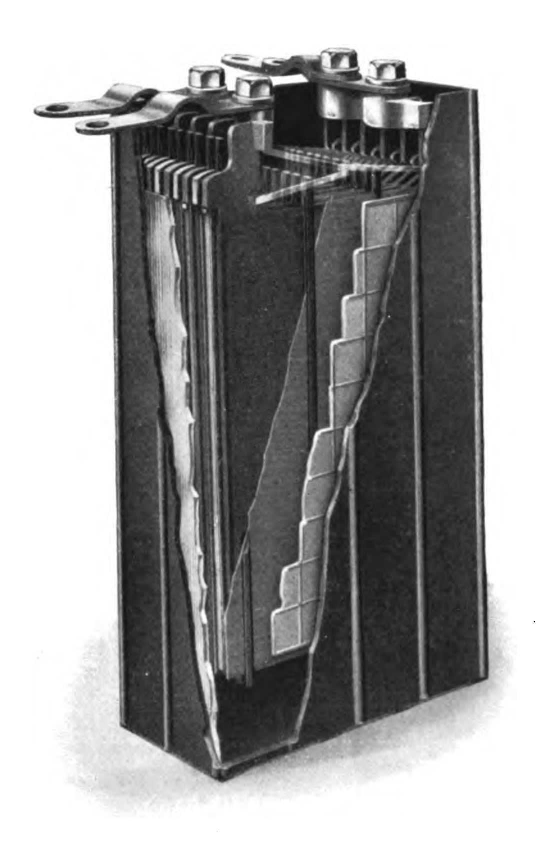


Fig. 7. — Triebwagen-Element, aufgeschnitte.

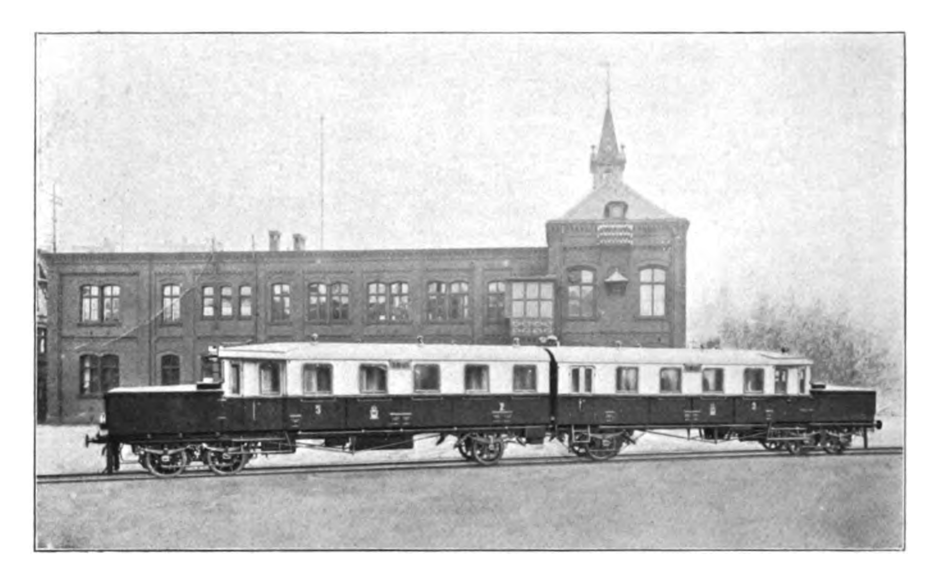


Fig. 8. — Accumulatoren-Triebwagen für die Preussische Staatsbahn.

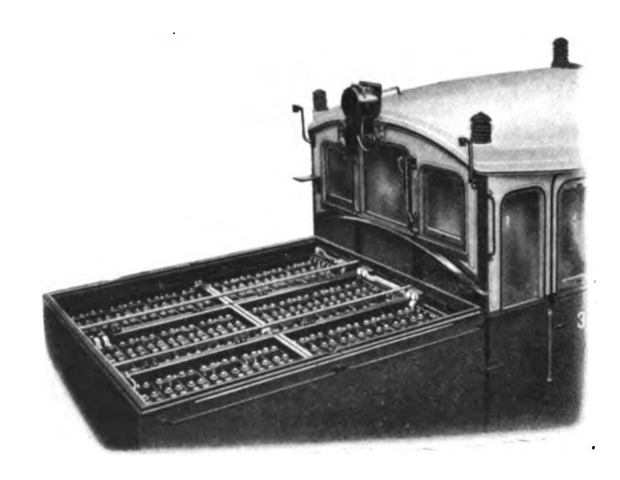


Fig. 9. — Aufsicht auf die Batterie eines Triebwagens.



Fig. 10. — Mit Accumulatoren betriebener Leitungs-Untersuchungswagen der Einphasenbahn Hamburg-Ohlsdorf.

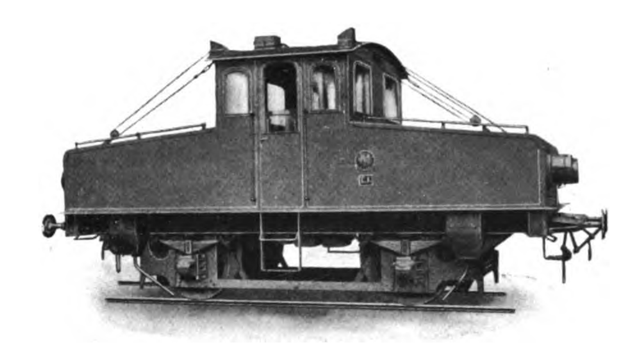


Fig. 11. — Accumulatoren-Lokomotive.

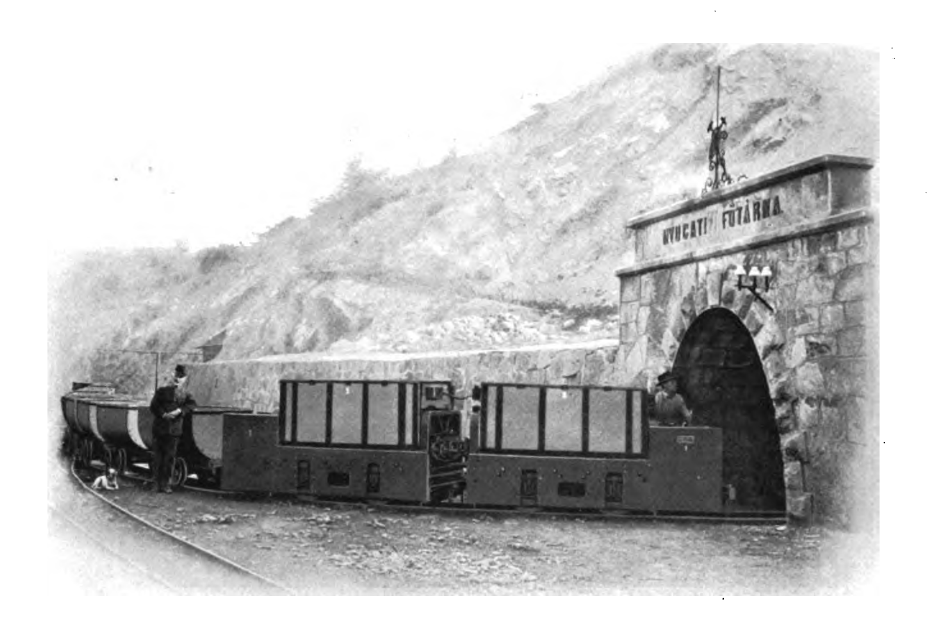


Fig. 12. — Accumulatoren-Grubenlokomotive bei der Einfahrt in den Schacht (Ungarn).

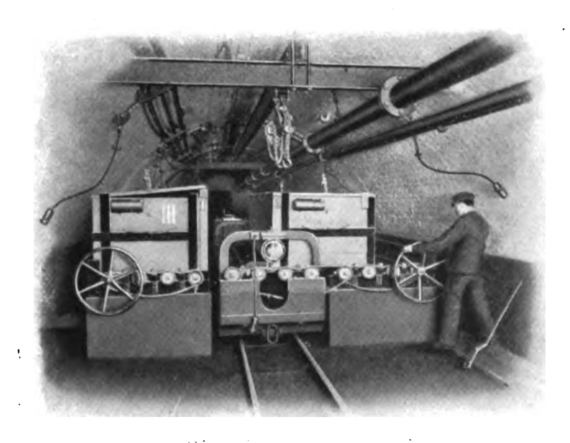


Fig. 13. Abrollen der Accumulatorenbatterie bei einer Grubenlokomotive (System Böhm).

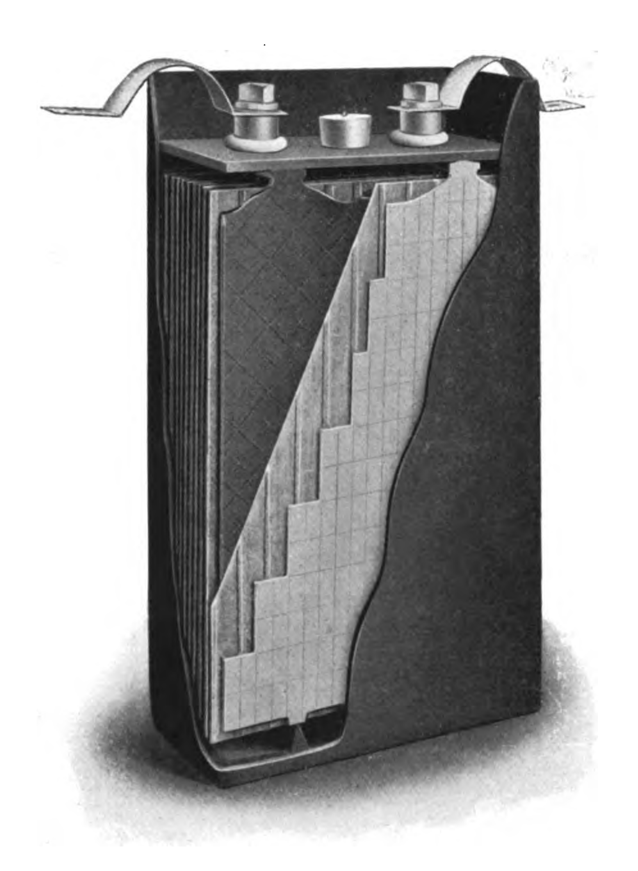


Fig. 14. — Automobil-Element aufgeschnitten.

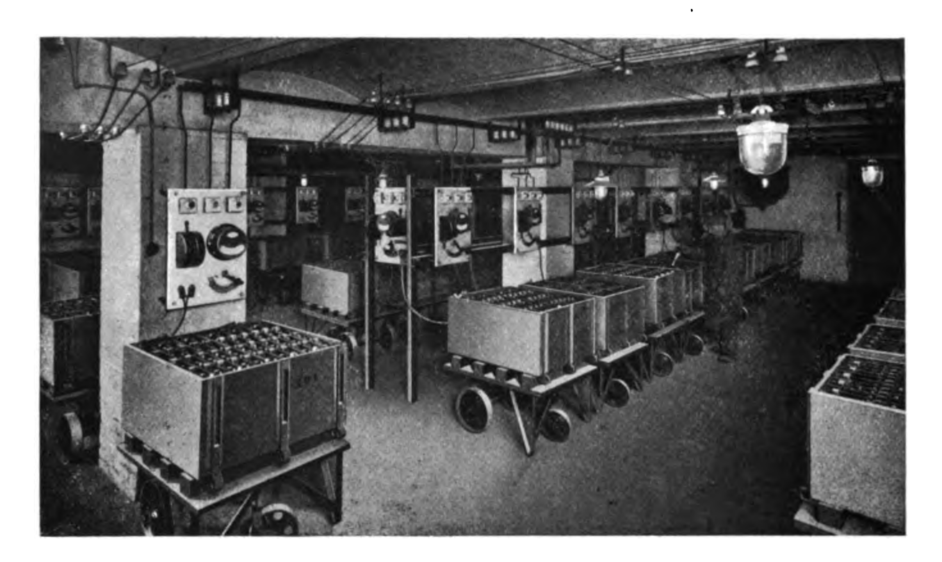


Fig. 15. — Ladestation für Elektromobile.

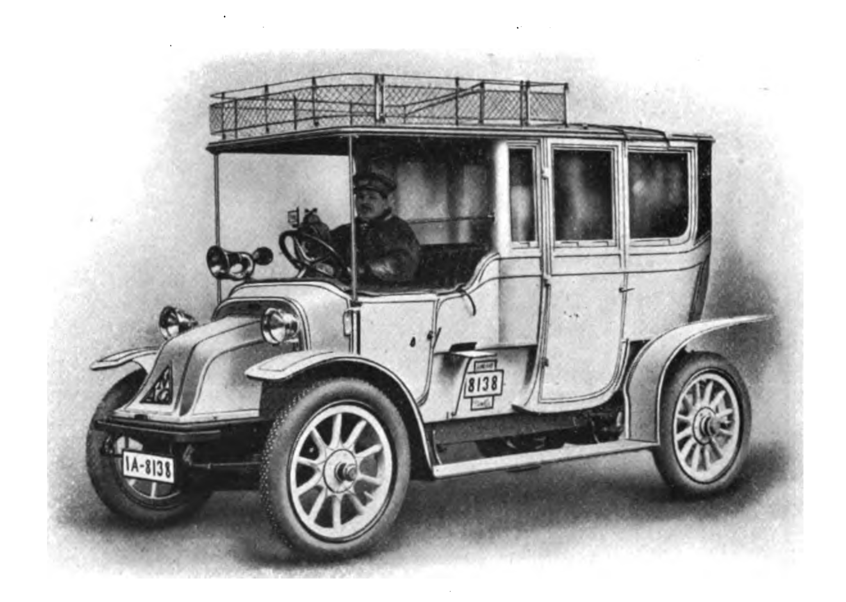


Fig. 16. — Elektromobildroschken der Automobil-Betriebs A.-G. (A B G) Berlin.

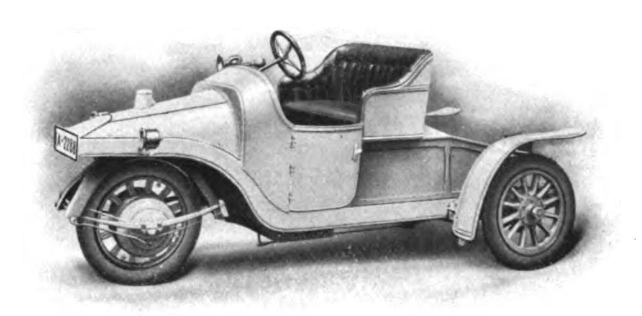


Fig. 17. — Elektrischer Selbstfahrer (Dreirad).



Fig. 18. — Elektrische Strassenwaschmaschine.



Fig. 19. — Elektromobil-Postwagen der Königlich. Bayerischen Post.

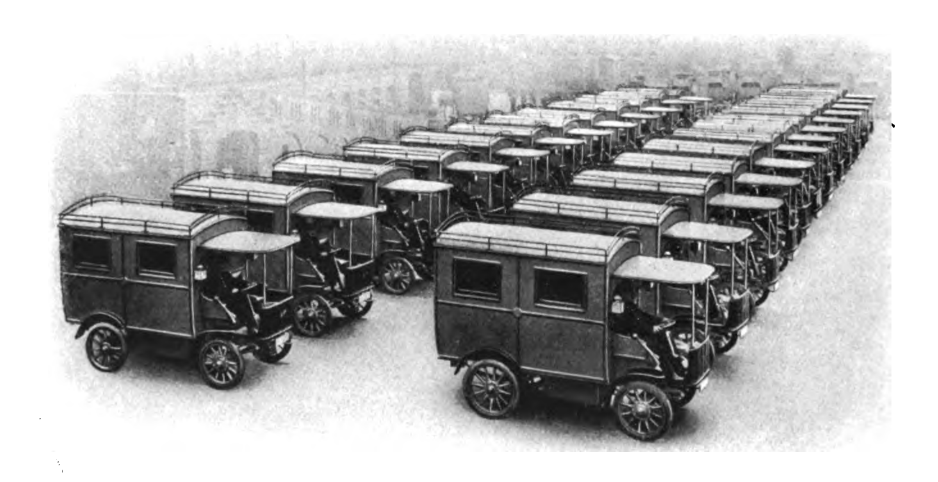


Fig. 20. — Elektrische Postwagen der Kaiserl. Deutschen Reichspost. Berlin.

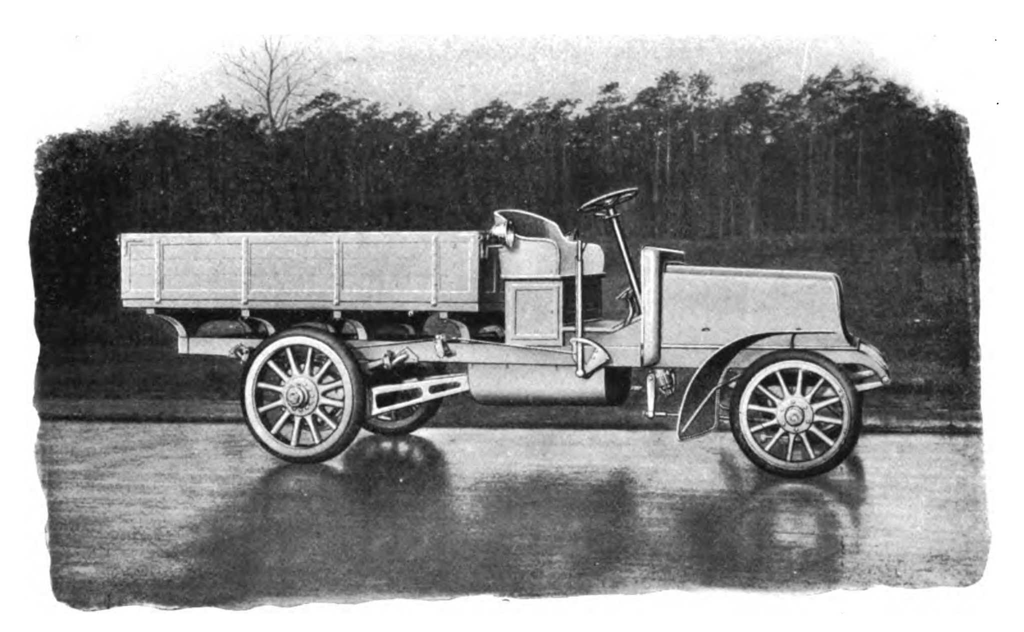


Fig. 21. — Elektromobilwagen für 3 t Nutzlast.



Fig. 22. — Elektrischer Turmwagen.

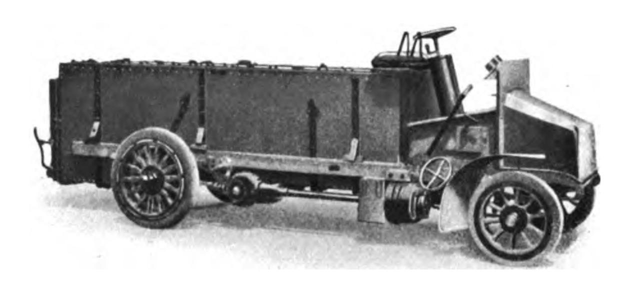


Fig. 23. — Elektrischer Müllwagen der Müllverbrennungs-Anstalt Hamburg.



Fig. 24. — Elektrisches Boot.

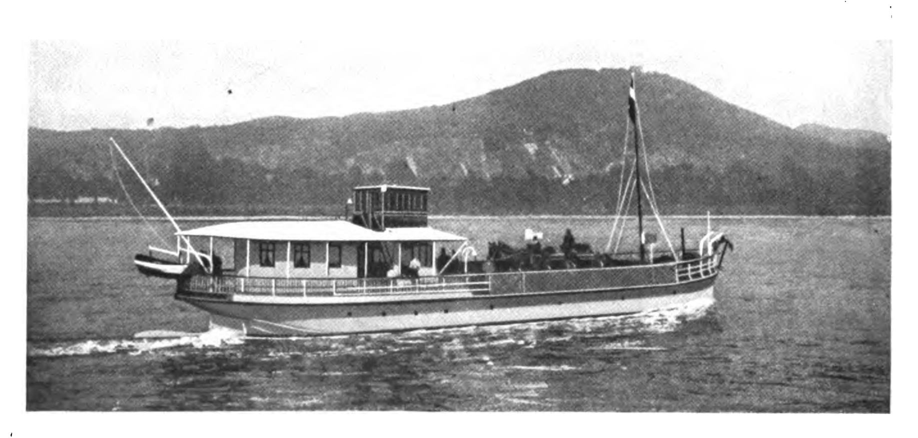


Fig. 25. — Mit Accumulatoren betriebenes Fährboot Godsberg a. Rh.

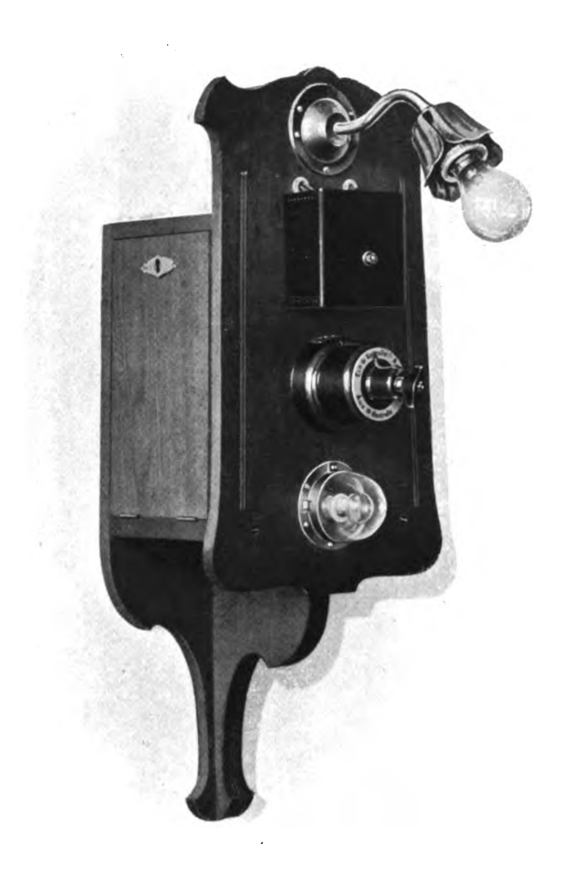


Fig. 26. — Elektrische Notbeleuchtung.



Fig. 27. — Elektrische Handlampe für Lecksicherung.

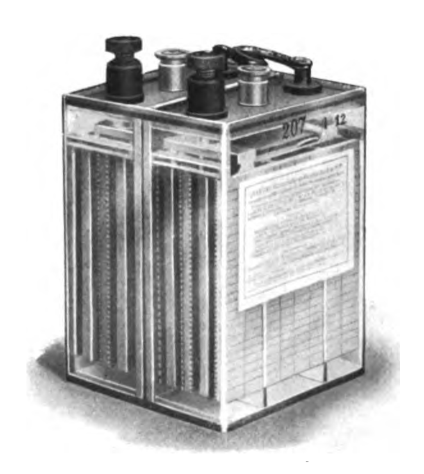


Fig. 28. — Zündaccumulator.



Fig. 29. — Elektrische Grubenlampe.

RÉSUMÉ

Les innombrables types d'accumulateurs qu'on a imaginés peuvent se partager en deux catégories: accumulateurs fixes et accumulateurs transportables, différant entre eux à la fois par la construction et par l'usage auquel ils sont destinés.

Accumulateurs fixes. — *Le nombre de types commerciaux de cette catégorie est en décroissance progressive.*

C'est la plaque Tudor à grande surface qui prévaut aujourd'hui pour le positif, tandis que certaines Maisons s'en tiennent encore au système à réseau pour les plaques négatives, bien que la Tudor construise avec succès les plaques à boîte. Sur les indications de Rodman et de Byour, on est arrivé à construire des plaques négatives à grande surface revêtues d'une couche active obtenue par formation.

Un notable progrès a été récemment réalisé en substituant aux classiques tubes de verre, des tablettes de bois, spécialement traitées, pour maintenir à distance convenable les électrodes contigus. Ces tablettes de séparation rendent plus facile la surveillance des plaques, empêchent les courts-circuits entre les éléments et donnent lieu à des produits chimiques qui augmentent la durée des plaques négatives. Soit en raison de ces progrès, soit par le fait que désormais les constructeurs prennent à leur charge l'entretien des batteries qu'ils fournissent, les accumulateurs modernes offrent une parfaite sûreté de fonctionnement et entrent de plus en plus dans la pratique courante.

Les accumulateurs fixes servent spécialement à deux usages; on les emploie comme batteries de capacité destinées à restituer à chaque instant et pendant de longues périodes de temps la charge qu'elles ont emmagasinée, ou comme batteries-tampons; elles servent alors à protéger les stations génératrices en répondant aux demandes d'énergie soudaines et rapides auxquelles leurs réseaux de distribution sont exposés.

L'A. donne une idée de l'importance des batteries de capacité actuellement installées, en rappelant:

l'Usine de la ville de Monaco qui en possède 21 de 21000 KWH au régime de 3 heures,

celle de Hambourg qui a 22 batteries d'une capacité totale de 37000 KWH.

la Berliner Elektrizitätswerke fonctionnant avec 55 batteries atteignant 81000 KWH.

L'emploi de ces batteries permet d'améliorer sensiblement le facteur de charge d'une station et d'utiliser entièrement la puissance d'une installation hydro-électrique pendant les heures de moindre demande d'énergie, condition souvent indispensable pour assurer le service des abonnés, ainsi que l'A. le prouve par quelques exemples.

La fonction des batteries-tampons, qui est de compenser les variations de tension dans les réseaux de distribution, diffère notablement de celle des batteries de capacité. On rencontre généralement les batteries-tampons dans les installations des tramways électriques, et aussi, actuellement, dans celles où se trouvent des ascenseurs, des laminoirs; partout, enfin, où la demande d'énergie se caractérise par de fortes variations. Leur valeur technique et économique est connue; elle s'est accrue grâce à l'adoption de récents schémas de montage (Woodbridge et Schröder), et à l'emploi de dynamos spéciales (survoltrices automatiques réversibles, Système Pirani, Highfield-Lancashire, Entz) qui permettent de conserver avec une grande précision la constance des tensions.

Les batteries-tampons devraient trouver un excellent emploi sur les grandes lignes de chemins de fer électriques alimentées au moyen de courant alternatif; il est à espérer qu'on les y verra prochainement adoptées. Jusqu'ici on ne les trouve que sur les lignes à courant alternatif simple Seebach-Wettingen, en Suisse, et sur la Wiesenthalbahn, dans le Granduché de Bade.

On a tout dernièrement adopté, en Amérique, le courant continu à 1200-1500 volts, au lieu du courant alternatif simple, pour la traction électrique; la comparaison de l'ensemble des frais d'exploitation dans l'un et l'autre cas a montré une diminution de 23.8 à 19 centimes dans le prix de revient de la voiture-mille. En outre, l'emploi de batteries-tampons pour une tension aussi élevée, n'a donné lieu à aucune difficulté, de sorte que l'A. pense que sous peu l'avantage économique et technique du courant continu à haute tension avec batteries-tampons sera universellement reconnu, surtout pour les lignes reliant deux villes et pour les lignes métropolitaines.

En Italie, les batteries-tampons ont donné d'excellents résultats dans les " filovie ".

On pourrait aussi leur trouver un très bon emploi dans les distributions à courants alternatifs triphasés, mais, en dépit des résultats satis-

faisants obtenus au moyen de schémas de montage appropriés, leur usage est encore très peu répandu. On ne trouve communément, dans les centrales à courants alternatifs, d'autres batteries d'accumulateurs que celles employées à l'excitation des alternateurs ou à l'éclairage des usines.

Accumulateurs transportables. — *A l'encontre des accumulateurs fixes, les accumulateurs transportables sont essentiellement de poids et de volumes relativement faibles.*

On adopte généralement les plaques à grande superficie pour les grands éléments, et les plaques à grillage pour les types de moindres dimensions.

Les accumulateurs système Edison et Jungner sont exclusivement employés comme sources transportables d'énergie.

On s'est d'abord contenté de petits éléments suffisants pour faire fonctionner un certain nombre d'appareils automatiques ou de petites installations d'éclairage; depuis quelques années, des batteries de grande puissance ont été requises pour les voitures à moteur, les grandes lignes de chemins de fer, les locomotives, les sous-marins, les automobiles; comme conséquence, un vaste champ d'exploitation s'est ouvert à ce type d'accumulateurs.

En Allemagne, les wagons-moteurs à accumulateurs sont fort en vogue sur les grandes lignes de chemins de fer. Les batteries sont disposées en tête des wagons et à l'extérieur; une seule charge suffit pour un parcours de 100 kilomètres. A la suite des résultats satisfaisants obtenus avec ce système (Geheimer Oberbaurat Wittfeld), l'Administration des chemins de fer prussiens a mis 140 nouveaux wagons en circulation, lesquels, comparés aux wagons automoteurs à benzine, offrent des avantages sensibles au point de vue de la sûreté, de la simplicité de manœuvre et de l'économie. On fera prochainement l'essai de wagons de ce type en Italie.

L'accumulateur n'a pas de rivaux pour les sous-marins; mais il doit répondre à des conditions très strictement déterminées quant au volume, au poids, et à la régularité de service.

L'automobile électrique ne détrônera sans doute jamais tout à fait l'automobile à essence, en comparaison de laquelle elle ne possède qu'un rayon d'action très limité; elle offre, en échange, l'avantage d'être complètement silencieuse et tout à fait inodorante à l'encontre de sa rivale; en outre, son maniement est incontestablement plus simple. Les fourgons automobiles électriques et les voitures électriques pour la livraison des marchandises et pour les services postaux et municipaux, ont donné, en général, de très bons résultats, principalement quand l'entretien des batteries était confié à ceux qui les avaient fournies.

On trouve à Saint-Louis 340 voitures électriques, à Cleveland 1800, à Chicago 3000.

Il y en a 7000 dans l'Etat de New York, tandis que dans l'Europe entière on en compte à peine un millier.

Cette différence considérable s'explique surtout par le fait qu'aux Etats-Unis les directeurs d'usines d'électricité facilitent énormément la diffusion des automobiles électriques; les accumulateurs de ces voitures pouvant être rechargés pendant les heures de moindre débit, représentent pour eux une clientèle importante qui améliore sensiblement le facteur de charge des réseaux de distribution; il suffit de rappeler qu'une automobile électrique consomme en moyenne près de 10000 KWH.

En Italie, on s'est également servi d'accumulateurs électriques pour l'éclairage des wagons de chemins de fer, à cause de la plus grande sécurité qu'offre ce système au point de vue des incendies. Ailleurs on a préféré alimenter les lampes au moyen d'une dynamo installée dans le train même.

Des accumulateurs transportables de petites dimensions remplacent aussi avec un certain succès les piles primaires. Tout dernièrement, une Société allemande a réussi à introduire dans les mines un type accueilli avec faveur de lampes électriques, portant chacune son propre accumulateur. Cette Société a pris à sa charge l'entretien tout entier des lampes fournies.

L'A. présente en terminant quelques données statistiques d'ont il résulte qu'en 1910 la vente des accumulateurs dans le monde entier s'est élevée à 60 millions de marks; 75 °/o de cette vente provenaient des Usines Tudor.

L'industrie des accumulateurs occupe 13000 personnes et emploie annuellement 70000 tonnes de plomb.

L'accumulateur alcalin fer-nickel.

J. A. MONTPELLIER (Paris).

Historique.

En 1893, M. DARRIEUS, Capitaine de vaisseau, qui s'est occupé tout particulièrement de l'étude des accumulateurs, avait signalé le principe des accumulateurs alcalins fer-nickel. Dans ces accumulateurs le liquide, employé comme électrolyte, ne prend pas part aux réactions chimiques et n'intervient que comme véhicule des ions. Les réactions chimiques auxquelles sont soumises les électrodes, respectivement en fer et en nickel, consistent simplement en phénomènes d'oxydation et de réduction.

En 1901, E. W. JUNGNER, d'une part, et EDISON, d'autre part, firent breveter des types d'accumulateurs alcalins fondés sur ce principe.

Les premiers essais effectués sur ces accumulateurs datent de 1903, époque à laquelle des éléments EDISON furent étudiés systématiquement au Laboratoire Central d'Électricité de Paris.

En 1907, M. JUMAU, dans une communication faite à la Société Internationale des Électriciens, exposa d'une manière très complète la technique de l'accumulateur alcalin, tel qu'il était à cette époque.

Depuis cette époque, des recherches ont été effectuées par EDISON, d'une part, et par M. PAUL GOUIN, d'autre part.

A l'heure actuelle, les seuls accumulateurs alcalins qui soient fabriqués industriellement sont ceux d'EDISON et de PAUL GOUIN, qui ont apporté des perfectionnements notables aux types primitifs d'éléments qu'ils avaient réalisés. Les chercheurs, assez

nombreux, parmi lesquels nous citerons JUNGNER, SCHOOP, POLZENIUS et GOLDSCHMIDT, RODERBOURG, MAX ROLOFF, WEHRLIN, HERKENRATH et BERGLUND, ont abandonné leurs essais et, à notre connaissance, les brevets qu'ils ont obtenus n'ont pas été l'objet d'applications industrielles.

Description de l'accumulateur Edison.

L'élément EDISON, type 1903, a pour électrolyte une solution de potasse pure dans l'eau distillée à 20 pour 100. L'électrode positive est constituée par un cadre ou grille en acier, entièrement nickelé, présentant 24 ouvertures rectangulaires, disposées régulièrement en trois rangées de huit chacune et dans lesquelles sont placées les pochettes de matière active. La matière active est un peroxyde de nickel hydraté $Ni^2 O^3, 3H^2 O$, qui, lors de la charge, passerait à l'état d'oxyde supérieur $Ni O^2$; le peroxyde de nickel étant peu conducteur, on le mélange avec des paillettes de graphite dans la proportion de 6 parties d'oxyde et de 4 parties de graphite. Le mélange humecté d'eau et de potasse forme une pâte que l'on soumet à une pression de 300 kg. par $cm.^2$ et qui est moulée sous forme de briquettes rectangulaires ayant environ 72 mm. de longueur, 10 mm. de largeur et 2 mm. d'épaisseur. Chaque briquette est ensuite enfermée dans une boîte plate en acier nickelé finement perforée sur ses deux faces. La grille est ensuite garnie de ces pochettes et le tout est soumis, entre deux matrices, à une pression de 90000 kg. pour chaque boîte ou pochette, de manière à l'écraser et à rabattre ses bords supérieurs de manière à la fermer hermétiquement et à la sertir dans son alvéole.

L'électrode négative est formée d'une grille identique à celle de l'électrode positive, garnie de pochettes contenant la matière active. Celle-ci est un mélange de fer et de protoxyde de fer, ce dernier obtenu par réduction du sesquioxyde au moyen de l'hydrogène à une température convenable. Pour donner à cette matière active la conductance nécessaire, on la mélange avec du graphite en paillettes à raison de 8 parties de matière active pour 2 de graphite.

Ce mélange est traité de la même manière que celui de la matière active positive pour en former des briquettes, enfermées également dans une pochette.

Le vase de chaque élément est formé de tôle d'acier très mince, nickelée et ondulée. Le fond est garni d'une plaque d'ébonite et les 28 plaques qui forment un élément (14 positives et 14 négatives), distantes l'une de l'autre de 1 mm., sont maintenues parallèles par des baguettes munies de rainures et disposées sur les côtés et sur le fond du vase. Des séparateurs en verre ou en ébonite sont placés entre les plaques. Enfin, le vase est fermé hermétiquement au moyen d'un couvercle percé de quatre ouvertures: deux livrent passage aux conducteurs et sont fermées au moyen d'une garniture étanche et isolante; une troisième, fermée au moyen d'une garniture en caoutchouc, est utilisée pour remplir l'élément d'électrolyte; la quatrième sert à l'évacuation éventuelle des gaz et, à cet effet, est munie d'un clapet qui se soulève lorsque les gaz ont acquis une certaine pression.

Ce type d'élément a été remplacé par le modèle 1910.

Afin d'éviter la chute de la matière active positive, les pochettes ont été remplacées par des tubes en ruban d'acier nickelé, enroulé en hélice et muni de perforations; des bagues de même métal, disposées de place en place, servent à consolider le tube.

L'électrode négative est garnie de pochettes plates. La matière active est toujours du protoxyde de fer, mais, pour lui donner la conductance qui lui manque, on le mélange avec du cuivre et de mercure.

Les caractéristiques d'un accumulateur Edison, du type traction, modèle A 8, du poids total de 11,870 kg., sont les suivantes, au régime de charge le plus favorable:

Capacité utile totale	300	ampères-heure
Capacité utile par kilogramme de poids total	25,2	„
Puissance utile, par kilogramme de poids total.	30	watts-heure

Description de l'accumulateur Paul Gouin.

L'électrolyte est une dissolution de potasse à 22 % pour les éléments de traction et à 20 % pour les éléments à poste fixe.

L'électrode positive est formée de tubes perforés en nickel

pur, frettés par deux fils de même métal, préalablement torsadés et oxydés par un procédé spécial. Chaque tube est rempli d'hydroxydes de nickel préparés spécialement, mélangés avec du graphite en poudre. Ces oxydes assurent un contact progressif et parfait de la matière active qu'ils constituent avec le tube qui la contient. Le tube, une fois rempli, est fermé à chaque extrémité par un bouchon en ébonite. Chaque plaque comporte 33 de ces tubes engagés horizontalement entre deux cornières verticales en nickel, affectant la forme d'un U; ces tubes sont maintenus par des rivets en nickel pur. Une traverse également en nickel, réunit les deux cornières verticales à leur extrémité supérieure et est munie d'une lame destinée à établir les connexions.

Chaque plaque pèse 400 grammes et contient environ 300 gr. de matière active.

L'électrode négative est constituée par une tresse métallique plate en fil de fer, formant une sorte de ruban plat de 4 mm. d'épaisseur, suspendu à une traverse horizontale par sa partie supérieure; cette électrode ne comporte pas de montants verticaux. Le poids de cette plaque est de 345 grammes.

Le protoxyde de fer est formé directement sur la tresse métallique; autrement dit, l'électrode négative est à formation autogène, c'est-à-dire ne comporte pas de matière active rapportée.

Les caractéristiques d'un élément Paul Gouin, type traction, comportant 12 plaques positives et 11 plaques négatives, pèse, y compris le vase, le couvercle, les séparateurs, l'électrolyte et les connexions, 13,005 kg.

Ses dimensions sont les suivantes:

Longueur . . .	200 millimètres	
Largeur	124 „	
Hauteur	330 „	(bornes comprises)
Volume	8 dcm^3, 184 cm^3.	

Au régime de décharge le plus favorable (25 ampères), on a les caractéristiques suivantes, la différence de potentiel moyenne étant de 1,24 volt:

Capacité utile totale . . .	430	ampères-heure
Capacité utile par kg. de poids total	26,7	„

Puissance utile totale . . .	430	watts-heure
Puissance utile par kg. de poids . . totale . . .	33	„

Avec un régime de décharge de 130 ampères, soit de 10 ampères par kilogramme de poids total de l'élément, avec une différence de potentiel moyenne de 1 volt, la capacité utile totale est de 286 ampères-heure et la puissance utile de 286 watts-heure, soit 22 ampères-heure et 22 watts-heure par kilogramme de poids total.

La durée de la charge normale est de 2 à 3 heures pour les batteries de traction et de 3 à 5 heures pour les batteries stationnaires, avec une différence de potentiel maximum à appliquer de 1,7 et de 1,75 volt respectivement.

La différence de potentiel moyenne lors de la décharge est de 1,1 et de 1,2 volt. La décharge en court circuit ou très rapide ne présente aucun inconvénient et ne risque pas de détériorer la batterie.

Le rendement en quantité des batteries de traction est de 68 à 70 % et le rendement en énergie de 50 à 55 %; pour les batteries stationnaires ces rendements sont respectivement de 76 à 78 % et de 68 à 70 %.

La solidité des plaques positives leur permet de supporter, sans aucune détérioration, un millier de décharges pour les batteries à poste fixe et 400 à 500 décharges pour les batteries de traction; il en est de même pour les plaques négatives.

Le prix des éléments Gouin varie de 26 à 35 centimes par watt-heure de capacité utile.

L'oxydation ou la détérioration des contacts et des bornes, la déformation des plaques, la chute des matières actives sont nulles. Il ne se produit pas de dégagement de gaz lors de la décharge.

Les bacs des éléments sont en acier nickelé ou en ébonite armée, ce qui fait qu'ils sont très résistants et relativement légers.

Les connexions des éléments sont constituées par des lames souples en nickel. Elles sont inoxydables et il est très facile de les monter et de les démonter.

Les chantiers des batteries à poste fixe sont établis en bois ou en fer; pour les batteries de traction, les caisses de groupement sont en tôle d'acier nickelé et ajourée. Dans les deux cas, la corrosion est presque nulle.

L'immobilisation de l'électrolyte est possible et facile pour les petites applications des éléments à poste fixe et possible dans certains cas pour les batteries de traction. Quant à la carbonatation de la potasse par le contact de l'air, elle est très peu sensible et du reste facile à éviter.

Enfin les éléments de toutes dimensions et capacités étant établis au moyen de plaques unitaires toujours du même type, mais dont le nombre seul varie, la fabrication des éléments Gouin ne nécessite qu'un matériel uniforme, ce qui constitue un grand avantage économique.

L'entretien des batteries est presque insignifiant, car il suffit de procéder à un lavage, tous les 3 mois pour les éléments de traction et tous les 6 mois pour les éléments stationnaires, opération très simple parce que le démontage et le remontage de la batterie est des plus faciles et peut s'effectuer très rapidement.

Comparaison de l'élément Gouin avec l'élément Edison (type 1910).

Dans l'accumulateur Edison, on a constaté que le premier et le principal inconvénient qu'il présente est dû à la chute de la matière active de l'électrode positive. Pour éviter cette chute, on a d'abord mélangé l'hydrate de sesquioxyde de nickel, constituant cette matière active, avec du graphite en paillettes et ce mélange était enfermé dans des pochettes en nickel finement perforées. Malgré ces précautions, entraînant des manipulations longues et coûteuses, les oxydes de nickel très ténus passaient assez rapidement à travers les perforations de la pochette. De plus, le rôle du graphite en paillettes ne paraît pas très efficace, car, non seulement il n'assure pas un bon contact, mais il perd aussi sa structure lamellaire à la suite de l'énorme pression à laquelle sont soumises les pochettes remplies, lorsqu'elles sont terminées. Enfin, la désagrégation du graphite est activée par l'électrolyse en bain alcalin.

Puis, Edison a remplacé les pochettes par des tubes formés de tubes en ruban d'acier nickelé perforé, enroulé en hélice et maintenu de place en place par des bagues de même métal. Malgré ce dispositif, qui réalise un perfectionnement, la chute des matières actives n'est pas évitée, car elles tombent à tra-

vers les perforations et les jointures, plus ou moins serrées, des bords du ruban employé. De plus, l'emploi de l'acier nickelé n'assure pas un contact parfait, à cause des couples secondaires qui prennent naissance forcément, toutes les fois que l'on utilise deux métaux différents déposés par voie électrolytique. Ces graves inconvénients sont faciles à constater par le simple examen d'une plaque positive Edison.

Cette chute de matière active est absolument évitée dans l'accumulateur Gouin, car la surface extérieure de l'électrode positive est oxydée par un procédé spécial et la couche d'oxyde ainsi obtenue est poreuse, absolument adhérente et résiste parfaitement à l'action de l'électrolyse en solution alcaline; elle empêche en outre la matière contenue dans les tubes de tomber dans le bac.

Un autre inconvénient que présente l'accumulateur Edison provient de la dilatation de la matière active positive, principalement lors de la période de formation et aussi pendant le fonctionnement de l'accumulateur une fois qu'il a été formé. Edison a pu remédier en partie à ce défaut en utilisant des hydroxydes de nickel transformés préalablement en sesquioxyde, soit par voie électrochimique, soit par l'action d'un courant de chlore gazeux.

Ces deux procédés sont coûteux; de plus, la compression de la matière active étant une des conditions indispensables pour obtenir un bon contact et, par suite, une bonne utilisation, il arrive que ce contact, devenant rapidement insuffisant par suite des chutes de matière active, dès que l'accumulateur a subi un certain nombre de charges et décharges, la résistance intérieure de l'élément augmente progressivement, ce qui entraîne une diminution de la capacité utile et une chute de tension. Dans le but d'éviter ce grave inconvénient, Edison recommande de charger les accumulateurs en sens inverse, dès qu'ils ont fourni un certain nombre de décharges, ce qui permet de régénérer les matières actives, car le nickel est suffisamment élastique pour revenir sur lui-même et établir de nouveau un bon contact. Mais il convient de faire remarquer que la dilatation que subit alors la matière active provoque fréquemment des courts-circuits, principalement lorsque la matière active est enfermée dans des pochettes plates. Ce défaut a été atténué dans les nouveaux types où les pochettes sont remplacées par des tubes.

M. Gouin a pu éviter cet inconvénient en enfermant la ma-

tière active dans des tubes de nickel perforés et frettés, ce qui lui a permis d'utiliser directement les hydroxydes de nickel, dont la préparation industrielle est beaucoup plus économique et qui, de plus, assurent un excellent contact.

Quant à l'électrode négative, les effets de dilatation et de contraction étant presque insensibles, on peut conserver l'emploi des pochettes plates, comme le fait Edison, lorsqu'on utilise des oxydes de fer rapportés.

Il est important de faire remarquer que l'électrode négative Gouin, à formation autogène, est beaucoup plus simple, plus solide et plus économique comme construction. Pour que l'oxyde de fer puisse donner les résultats désirables. il faut augmenter sa conductance. Dans ce but, Edison mélange l'oxyde de fer avec du cuivre et du mercure, ce qui complique énormément la fabrication et augmente considérablement le prix de revient. De plus, lorsque l'accumulateur Edison est en fonctionnement, le mercure se sépare de l'oxyde de fer et tombe dans le fond du bac; ce fait, constaté dans tous les éléments Edison, a pour conséquence de produire rapidement une chute de puissance à cause de l'augmentation de résistance que présente la matière active, et du défaut de bon contact qui s'accentue graduellement pendant le fonctionnement de l'accumulateur.

Ce grave défaut ne peut se produire dans les plaques négatives de l'accumulateur Gouin, par suite même de la construction de cette électrode.

Le mode de fabrication des éléments Gouin est des plus simples, et n'exige qu'un matériel très réduit permettant l'exécution d'éléments de toutes dimensions et capacités, depuis 2 watts-heure jusqu'à 10000 watts-heure, sans moules ni machines afférents à chaque modèle. En effet, tous les types comportent des plaques positives et négatives absolument identiques, dont le nombre seul varie suivant le type qu'il s'agit de réaliser, alors que, généralement, les différents modèles d'un même accumulateur exigent chacun un outillage spécial.

Dans l'élément Gouin, le prix de revient des plaques négatives est extrêmement réduit, ce qui permet de l'établir dans de bonnes conditions de prix, six à sept fois moins cher que les plaques positives, tandis que les plaques négatives Edison reviennent, comme fabrication, presque aussi cher que les plaques positives par suite de la main-d'œuvre onéreuse et du prix des matières employées.

Au point de vue du rendement, si l'on compare l'élément Edison et l'élément Gouin, on constate que la capacité et la puissance utiles de ce dernier sont supérieures. En effet, la capacité par kilogramme d'élément Edison des derniers modèles n'est que de 24 watts-heure, tandis qu'elle atteint 28 à 30 watts-heure pour l'élément Gouin.

Enfin, en ce qui concerne l'encombrement des batteries, les accumulateurs Edison ont une capacité utile de 52 watts-heure par décimètre cube, tandis que les accumulateurs Gouin atteignent 55 à 60 watts-heure.

Avantages que présente l'accumulateur alcalin fer-nickel comparé à l'accumulateur au plomb.

Pour faire ressortir les avantages que présente l'accumulateur alcalin, comparé à l'accumulateur au plomb, il est nécessaire de signaler les actions chimiques et mécaniques qui se produisent dans chacun d'eux pendant leur fonctionnement, aussi bien dans la période de charge que dans la période de décharge.

Tandis que dans les accumulateurs au plomb, l'électrolyte, c'est-à-dire la solution d'acide sulfurique, intervient et est nécessaire pour que les réactions chimiques puissent se produire, l'électrolyte de l'accumulateur alcalin ne sert uniquement que de conducteur, sa composition restant invariable, aussi bien pendant la charge que lors de la décharge.

Il se produit dans l'accumulateur alcalin des couples secondaires, qui ont pour effet de transporter l'oxygène d'un pôle à l'autre. Lors de la charge, l'ion oxygène se porte de l'électrode négative vers l'électrode positive et il en résulte:

1° La réduction de l'oxyde de fer de l'électrode négative, par conséquent, mise en liberté d'oxygène;

2° La suroxydation de l'oxyde de nickel, constituant la matière active de la plaque positive, par suite de l'oxygène libéré qui se porte sur cette électrode pour former un oxyde supérieur de nickel.

Pendant la décharge, c'est le phénomène inverse qui se produit.

Théoriquement, il ne se produit pas de dégagement gazeux.

Pratiquement, comme les régimes de charge sont toujours très élevés et que les masses de matière active n'ont pas une conductance parfaite, il en résulte, surtout à la fin de la charge, un dégagement de gaz dû à l'électrolyse de la solution alcaline.



C'est ce dégagement gazeux qui cause la légère infériorité de l'accumulateur alcalin, au point de vue du rendement, lorsque l'on compare un élément neuf au plomb avec un élément neuf alcalin. Il n'en est plus de même lorsque la comparaison des deux accumulateurs s'effectue après qu'ils ont subi de 30 à 40 charges et décharges, car alors les rendements sont sensiblement identiques.

Pendant la période de décharge, si elle est effectuée quelques minutes après la charge, afin de permettre aux gaz occlus de s'échapper, on constate qu'aucun dégagement sensible de gaz ne se produit pendant toute sa durée.

Au point de vue mécanique, c'est-à-dire au point de vue de la solidité des plaques, l'accumulateur alcalin présente une supériorité incontestable.

Tous les électriciens connaissent les nombreux inconvénients que présentent les accumulateurs au plomb, parmi lesquels le plus important est la mise hors d'usage des électrodes, à la suite des charges et décharges successives, qui ont pour effet de produire des actions locales nuisibles dues à la sulfatation, lors de la décharge.

La formation de sulfate de plomb sur les plaques positives produit un foisonnement de la matière active, dont le volume augmente de ce fait, provoquant une dilatation nuisible de la plaque qui, n'étant pas élastique, ne reprend son volume primitif qu'à la suite d'une nouvelle charge. Dans ces conditions, après un certain nombre de décharges, la plaque éclate, se brise ou se gondole, et il en résulte une diminution de capacité de l'élément, et souvent des courts-circuits qui amènent rapidement la destruction des plaques et nécessitent leur remplacement.

La plaque négative est également le siège de réactions nuisibles lors de la décharge: sa matière active, formée de plomb métallique spongieux, s'oxyde et donne lieu à la formation d'un couple local et de sulfate de plomb insoluble et peu conducteur, qui amène aussi la destruction de plaques et une baisse de capacité.

L'accumulateur alcalin ne présente pas les mêmes inconvénients, car les électrodes ne subissent aucun changement appréciable et elles sont indéformables, ce qui évite absolument tout court-circuit. En effet, lors de la décharge, il se produit une contraction, au lieu d'un foisonnement, de la matière active; cette contraction est même assez sensible si la décharge est

poussée très loin. D'autre part, comme la matière active positive n'est pas agglomérée, comme dans les accumulateurs au plomb, où cette agglomération de la matière active est obtenue au moyen du sulfate de plomb qui se forme, il est absolument indispensable que la matière active positive de l'accumulateur alcalin (hydroxydes de nickel) ne puisse pas s'échapper des pochettes ou tubes qui la contiennent.

C'est l'observation de ces phénomènes qui a amené M. Gouin à constituer son électrode positive de telle manière, que la chute des matières actives soit complètement évitée. A ce propos, il a été constaté que ce résultat avait été obtenu, puisque dans un accumulateur du type sous-marin pesant 180 kilogr., d'une capacité de 5000 watts-heure, après un fonctionnement de 4 mois, représentant 100 charges et 100 décharges, le résidu retiré du fond du bac, du poids de 80 grammes, soumis à l'analyse chimique, n'a pu accuser aux réactifs les plus sensibles la moindre trace d'oxyde de nickel ou de nickel métallique. Ce résidu était presque entièrement formé de particules de fer provenant de la surface extérieure des électrodes négatives et d'un peu de graphite.

Lors de la charge, la matière active de l'électrode positive reprenant son volume primitif, il est absolument indispensable que l'enveloppe la renfermant soit indéformable.

Dans les accumulateurs alcalins, pendant la période de charge, l'eau qui dissout la potasse, constituant l'électrolyte, est décomposée en oxygène et en hydrogène. L'oxygène se porte sur l'électrode positive en nickel pour former un oxyde supérieur de ce métal, tandis que l'hydrogène se porte sur l'électrode négative en fer pour réduire l'oxyde de fer qui la recouvre.

Dans ces conditions, il ne peut se produire de phénomène analogue au foisonnement des accumulateurs au plomb; il est possible de réduire la quantité d'électrolyte dans chaque élément et l'on peut procéder, sans aucun inconvénient, à la charge et à la décharge rapides de la batterie au régime de 20 à 25 watts par kilogramme d'élément, ce qui n'est pas le cas des accumulateurs au plomb, pour lesquels on ne peut dépasser 7 à 8 watts.

Quant à la durée de la charge normale, celle des accumulateurs alcalins peut s'effectuer en deux à trois heures pour les batteries de traction et en 3 à 5 heures pour les batteries à poste fixe, alors que celle des accumulateurs au plomb exige

de 3 à 5 heures pour les batteries de traction et de 8 à 10 heures pour les batteries à poste fixe.

Lors des essais effectués au Laboratoire Central d'Électricité, on a constaté, en effet, que les éléments alcalins résistaient parfaitement à des régimes de charge et de décharge brusques et violents, et qu'après 500 décharges la capacité de l'élément pouvait être ramenée à sa valeur primitive. C'est là un résultat pratique des plus importants.

En ce qui concerne le rendement, on a constaté que l'accumulateur Gouin a une capacité totale utile, supérieure de 20 à 25 % à celle des meilleurs accumulateurs au plomb.

En effet, dans les meilleurs accumulateurs au plomb à poste fixe, la capacité utile par kilogramme d'élément est de 6 à 8 watts-heure, et de 20 à 24 watts-heure pour les accumulateurs de traction. Cette capacité utile atteint respectivement 18 à 20 watts-heure et 24 à 30 watts-heure pour les éléments Gouin.

La durée des accumulateurs alcalins est au minimum dix fois plus grande que celle des accumulateurs au plomb. Les bornes et les pièces de contact en nickel ne sont pas susceptibles de se détériorer, alors que, dans les accumulateurs au plomb, malgré toutes les précautions, elles sont rapidement mises hors d'usage.

Une batterie d'accumulateurs alcalins peut être laissée entièrement déchargée pendant plus d'un mois sans aucun inconvénient, et aussi être déchargée complètement en court-circuit, alors qu'une batterie d'accumulateurs au plomb soumise à un pareil régime serait mise rapidement hors d'usage.

Les accumulateurs au plomb, après usure, n'ont aucune valeur, même comme vieux plomb. Dans l'accumulateur alcalin, le nickel qu'il contient conserve sa valeur, qui n'est pas négligeable.

Enfin, à puissance égale, les accumulateurs alcalins sont plus légers et moins encombrants que les accumulateurs au plomb. En effet, les accumulateurs au plomb pour traction n'ont qu'une capacité utile de 48 à 50 watts-heure par décimètre cube et de 12 à 15 watts-heure pour les batteries stationnaires, tandis que les accumulateurs alcalins ont respectivement de 55 à 60 et de 30 à 40 watts-heure, toujours par décimètre cube.

En ce qui concerne l'entretien des batteries, principalement des batteries de traction, l'accumulateur au plomb nécessite un démontage, un lavage complet et une charge de désulfatation

tous les mois, tandis que l'accumulateur alcalin n'a besoin que d'un simple lavage tous les trois mois au maximum.

La seule objection sérieuse que l'on puisse faire à l'emploi de l'élément alcalin, tel qu'il est construit actuellement, est son rendement, qui est légèrement inférieur à celui de l'accumulateur au plomb.

Il est essentiel de faire remarquer que le rendement est fonction d'une bonne utilisation et d'une bonne conductance des matières actives; or, sur ce point, l'élément alcalin s'améliore de jour en jour, et le rendement des éléments Gouin est déjà très sensiblement supérieur à celui des éléments Edison, par suite de l'emploi de plaques négatives ayant une grande surface, et dépourvues de toute enveloppe extérieure résistante; d'autre part, il ne faut pas, à notre avis, lorsqu'on veut comparer les rendements de deux types d'éléments, se borner à déterminer ces rendements sur des éléments neufs, mais bien déterminer le rendement moyen pendant toute la durée de leur service; or, à ce point de vue, non seulement le rendement des éléments alcalins est au moins égal à celui des accumulateurs au plomb, mais il lui est même supérieur, car, si la conductance des matières actives des éléments au plomb est supérieure à celle des éléments alcalins, au début de leur fonctionnement, il n'en est plus de même après 30 ou 40 décharges, parce que les matières actives des accumulateurs au plomb perdent très rapidement leur adhérence avec les supports conducteurs, et il se produit alors sur ceux-ci une grande perte de courant par électrolyse; tous les électriciens ayant utilisé des accumulateurs au plomb ont pu le constater. Dans les éléments alcalins, ce phénomène ne peut pas se produire, à moins que la matière active positive ne tombe dans le bac, inconvénient absolument évité dans l'accumulateur Gouin.

Le rendement de l'accumulateur Gouin reste sensiblement constant, au moins pendant un nombre de décharges dix fois supérieur à celui des accumulateurs au plomb. De plus, dans les éléments pour batteries à poste fixe, seul cas où le rendement présente un grand intérêt, il suffit de ne pousser la décharge que jusqu'aux deux tiers de leur capacité normale pour obtenir un rendement atteignant facilement en énergie 60 à 62 % et celà avec une capacité par kilogramme de poids total de 18 à 20 watts-heure, alors que les batteries au plomb, pour la même application, ne donnent, neufs et en bon état, qu'en-

viron 65 % de rendement, avec une capacité de 5 à 6 watts-heure par kilogramme de poids total.

L'accumulateur Gouin constitue un progrès important à cause de sa supériorité, si on le compare aux accumulateurs au plomb. Il se prête parfaitement à des applications pour lesquelles l'accumulateur au plomb n'a jamais pu donner jusqu'ici entière satisfaction, notamment pour l'alimentation des lampes portatives, pour la traction des voitures automobiles et des tramways, pour l'éclairage des trains de chemins de fer, pour la propulsion des bateaux sous-marins, etc.

Enfin, au point de vue de fabrication et utilisation, les accumulateurs alcalins sont loin de présenter les mêmes dangers que les accumulateurs au plomb et, par suite, les règlements d'hygiène concernant ces derniers ne leur sont point applicables.

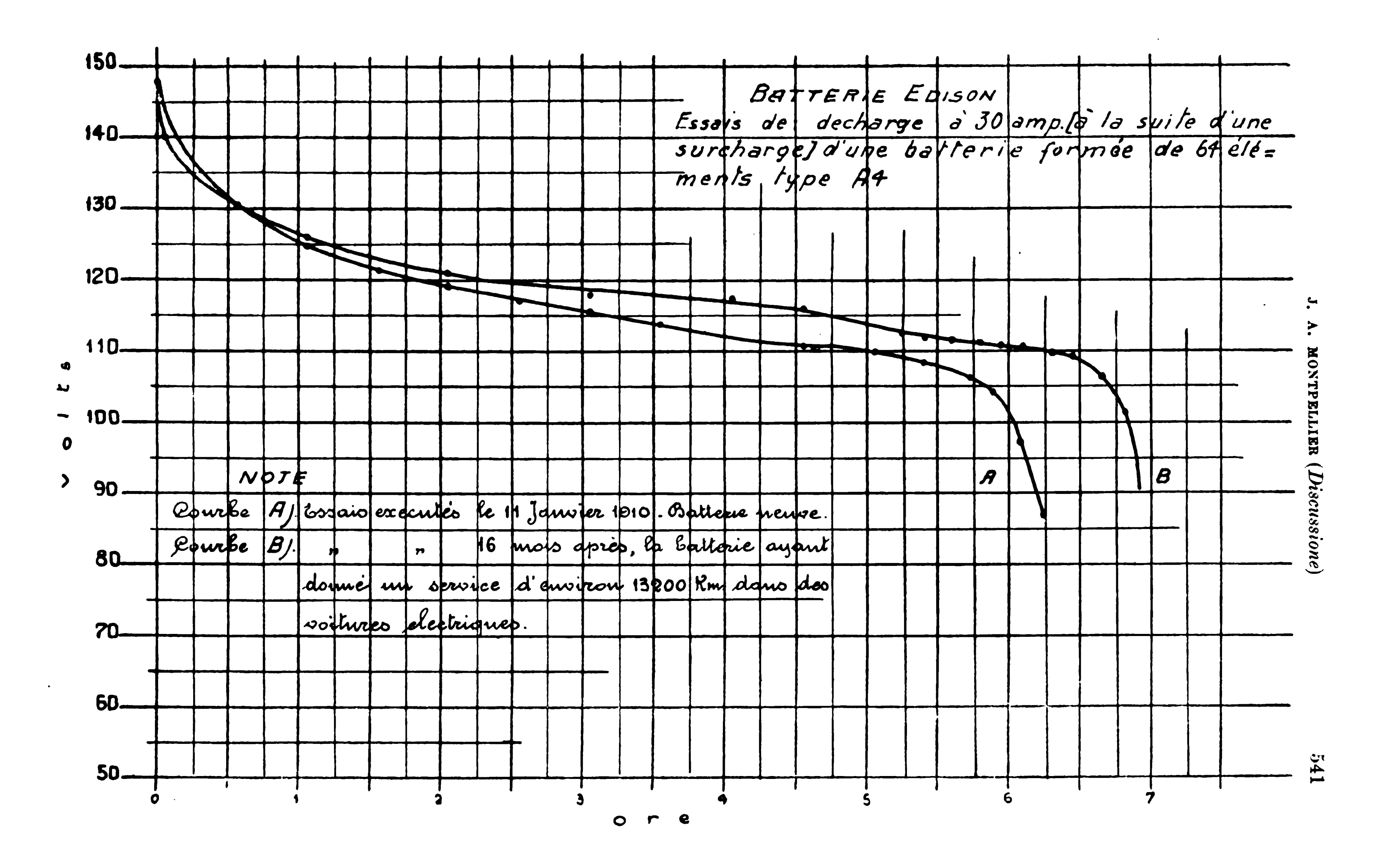
DISCUSSION

M. C. H. SHARP (New York). — *M. Montpellier, après avoir fait l'historique de l'accumulateur alcalin fer-nickel, donne une description des éléments Edison et Gouin, et subséquemment établit une comparaison entre ces deux modèles d'accumulateurs.*

C'est à regretter que l'Auteur, qui semble bien connaître le côté théorique de la question, ne soit pas aussi bien renseigné sur la construction et les résultats pratiques de l'accumulateur Edison.

Entre autres choses, il affirme que l'on emploie du graphite en paillettes dans les tubes de la plaque positive. Or il est désormais bien connu que ce ne sont pas des paillettes de graphite, mais des paillettes très minces de nickel qui entrent dans la composition de ces plaques, et que ces paillettes et les sels de nickel ne sont pas mélangés ensemble, mais sont disposés en couches régulières dans les tubes.

On sait également que ces matières conductrices n'ont pas été choisies et disposées de telle façon dans le but d'éviter la chute de la matière active de l'électrode positive, comme le prétend Mr. Montpellier, mais afin d'éviter la chute de tension due à la haute résistance du sel de nickel.


Batterie Edison
Essais de décharge à 30 amp. [à la suite d'une surcharge] d'une batterie formée de 64 élé=ments type A4
NOTE
Courbe A). Essais executés le 11 Janvier 1910. Batterie neuve.
Courbe B). " " 16 mois après, la batterie ayant donné un service d'environ 13200 Km dans des voitures électriques.
A
B
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
volts
0
1
2
3
4
5
6
7
ore

En présence de telles constatations on est justifié, si on se permet de douter aussi des autres affirmations de l'Auteur.

Nous lisons, par exemple, dans la brochure, que " l'emploi de l'acier nickelé n'assure pas un contact parfait à cause des couples secondaires ". Mais est-ce une affirmation déduite d'expériences pratiques? Cela paraît peu vraisemblable, car l'on sait que l'accumulateur Edison peut retenir sa charge, à circuit ouvert, pendant une très longue période, ce qui ne serait pas le cas s'il se produisait des actions locales.

Nous lisons plus loin: " lorsque l'accumulateur Edison est en fonctionnement, le mercure se sépare de l'oxyde de fer et tombe dans le fond du bac; ce fait, constaté dans tous les éléments Edison, a pour conséquence de produire rapidement une chute de puissance ". Cette affirmation ne s'accorde en rien avec nos propres observations. Des expériences faites dans la pratique avec l'accumulateur Edison nous ont prouvé que durant plusieurs mois après la mise en service la capacité de ces accumulateurs croit au lieu de diminuer.

Les courbes ci-dessus, font ressortir très clairement cette particularité, et sont en contradiction directe avec les constatations de l'Auteur. De telles inexactitudes de sa part jettent forcément une ombre de doute sur ses observations en général.

Dans le but de compléter nos propres observations par l'opinion éclairée d'une autorité en la matière, nous avons voulu consulter M. Holland, Ingénieur en Chef de l'Edison Storage Battery Co.

A ce propos Mr. Holland est avant tout de l'opinion que M. Montpellier semble ne connaître que l'ancien type de la batterie Edison, dans lequel les positives et les négatives étaient plates; mais ce modèle a été abandonné il y a plus de cinq ans. Même dans la description de cet ancien type — l'élément D — il remarque que M. Montpellier commet des erreurs.

Par exemple, il rapporte que le peroxyde de nickel est mélangé de graphite en paillettes dans la proportion de six parties d'oxyde pour quatre de graphite. En réalité, la proportion employée dans ce type était de huit d'oxyde pour deux de graphite.

Au bas de cette même page, il dit que le fer — matière active de la négative — est également mélangé avec des paillettes de graphite qui lui donnent de la conductance; cela n'est pas vrai, car on emploie, depuis plus de huit ans, le mercure, pour augmenter la conductance des négatives.

Plus loin, il dit que des séparateurs de verre ou d'ébonite sont placés entre les plaques, ce qui est inexact pour le modèle dont il parle, car le verre a seulement été essayé expérimentalement dans les tout premiers éléments fabriqués en 1901.

Il dit aussi, que dans le nouveau type, les pochettes positives ont été remplacées par des tubes afin d'empêcher la chute des matières actives. Ce n'est, en aucune façon, la raison pour laquelle la construction tubulaire des positives a été adoptée, car, dans l'ancien type, nous n'avons jamais eu d'ennuis provenant de la chute des matières actives. Le seul inconvénient provenait de la dilatation des pochettes plates qui pouvait détériorer le contenu des pochettes et peut-être même produire des courts-circuits dans l'élément. La construction tubulaire a été adoptée pour résister à la pression de la dilatation intérieure et pour aucune autre raison.

Un autre ennui constaté dans l'ancien modèle était la désagrégation du graphite des matières actives due à l'oxydation par électrolyse. Cet inconvénient a été vaincu, dans le type " A ", en employant, au lieu de graphite, de fines paillettes de nickel pur pour donner de la conductance aux matières actives positives.

M. Holland, après son expérience, croit que l'élément Gouin ne pourra pas avoir une longue durée, aussi longtemps qu'on y emploiera le graphite dans les électrodes positives.

M. Montpellier dit, plus loin, que, dans le nouvel élément Edison, les matières positives de fer sont rendues conductrices par leur mélange avec du cuivre et du mercure. Ce n'est pas le cas, car on y met seulement du mercure et pas de cuivre.

Les caractéristiques de l'élément Edison A 8 données par M. Montpellier doivent être modifiées comme suit:

Poids de l'élément complet	*11*	*kg. 400.*
Capacité utile totale	*333*	*ampères-heure*
Capacité utile par kilogramme . . .	*29,2*	*—*
Puissance utile totale	*400*	*watts-heure.*
Puissance utile par kg. de poids totale	*35*	*—*

M. Montpellier dit que le rendement d'une batterie Gouin pour la traction est de 68 à 70 % en quantité et de 50 à 55 % en énergie; d'après cela, j'imagine que le rendement en voltage, c'est-à-dire le rapport du voltage moyen à la décharge et du voltage moyen à la charge est de 76 %. Cela est possible. Mais les chiffres donnés pour les batteries stationnaires sont impossibles, savoir: 76 à 78 % en quantité et 68 à 70 % en énergie. Pour obtenir, avec le rendement en quantité indiqué, un rendement en énergie aussi élevé, il faut que le rendement en voltage soit d'environ 90 %; or, c'est un fait bien connu que le rendement en voltage d'un élément alcalin peut difficilement dépasser 76 %, quel que soit le genre de construction.

En ce qui concerne le prix de l'élément Edison, prenons le plus petit et le plus grand modèle de traction; les données suivantes sont basées sur la capacité moyenne actuelle en watts-heure, dans des conditions normales:

	A 4	A 12
Capacité utile	*200*	*600*
Prix courant en dollars	*13,50*	*39*
Prix par watt-heure en cents . .	*6 3/4*	*6 1/2*

M. Montpellier affirme qu'il est suffisant de laver les éléments Gouin de traction tous les trois mois, et les éléments stationnaires tous les six mois. M. Holland ne voit pas du tout pourquoi il est nécessaire de laver les éléments, s'il n'y a pas de chute de matières actives comme on le prétend. Aucun lavage est nécessaire pour les éléments Edison. Sur ce point, M. Montpellier a des idées erronées qui ne sont certainement pas basées sur l'expérience, comme lorsqu'il dit plus loin, page 6, que le premier et principal inconvénient des éléments Edison est la chute des matières actives des électrodes positives. Il dit que, dans l'ancien type d'élément, le graphite a été mélangé aux matières actives dans le but d'empêcher la chute des matières actives et que, malgré ces précautions, l'oxyde de nickel tombait à travers les perforations des pochettes. Le graphite n'était pas employé dans ce but dans l'ancien type, puisqu'aucune chute de matière active n'a été constatée par l'expérience; le graphite était employé uniquement pour donner de la conductance.

Au bas de cette même page, Montpellier écrit que, dans l'ancien élément, on a constaté une désagrégation du graphite produite par l'électrolyse en solution alcaline. Ce point est parfaitement exact et, puisque le graphite est employé dans les plaques positives de l'élément Gouin, le même inconvénient doit certainement être observé. Il est dit ensuite que, avec la construction tubulaire, la perte de matière active n'est pas évitée, et qu'elle passe à travers les joints et perforations. Cela n'est certainement qu'une opinion qu'aucune expérience ne confirme; il en est de même du premier paragraphe de la page 7, disant que l'emploi de l'acier nickelé est mauvais, parce qu'il donne naissance à des réactions ou couples secondaires entre les deux différents métaux.

Les remarques sur ce qui concerne les inconvénients de l'élément Edison provenant de la dilatation des matières actives positives, semblent concerner les pochettes plates du type ancien, et se rapporter aussi à l'idée erronée que la matière active tombe des tubes.

Edison n'a jamais recommandé de charger en sens inverse l'élément du type " A ", mais la méthode a été reconnue bonne pour régénérer l'ancien type, et a été recommandée dans certains cas.

On dit que, dans la négative d'Edison, le mercure arrive à se séparer de l'oxyde de fer et à tomber au fond du bac, ce qui augmente la résistance de la matière active. Il est vrai que, parfois, de petites quantités de mercure tombent des négatives; mais ce n'est que l'excès de mercure qui est amalgamé (!) avec le fer, et les essais ont montré que la résistance et le rendement des matières actives négatives s'accroissent avec le temps et l'usage au lieu de diminuer.

Les chiffres de Montpellier sur la capacité de l'élément Edison, page 9, sont absolument incorrects. La Compagnie Edison garantit absolument que tous les éléments de traction conservent la capacité indiquée pendant quatre ans, et que, dans ces conditions, les chiffres obtenus aux décharges seront les suivants:

Type A-6

Poids de l'élément 8,85 kg.
Volume . . . . 4,18 dcm³.

Puissance totale	*calculée*	270	*watts-heure*
	normale	320	—
	maximum possible .	394	—
Puissance par kg. d'élément	*calculée*	30,5	—
	normale	36,2	—
	maximum possible .	44,5	—
Puissance par dcm³	*calculée*	64,6	—
	normale	76,5	—
	maximum possible .	94,0	—

Les valeurs ci-dessus par rapport au poids et au volume ont été relevées dans les laboratoires de la Compagnie Edison Storage Battery.

Des réponses de M. Holland il découle que la plupart des " graves défauts " imputés par M. Montpellier à l'accumulateur n'existent en aucune sorte. Ajoutons que le défaut principal de l'accumulateur Edison (défaut qu'il partage d'ailleurs en commun avec tous les autres accumulateurs fer-nickel) n'est précisément pas mentionné par l'auteur. Nous voulons parler de la grande perte de capacité subie par l'accumulateur quand la température de l'électrolyte devient trop basse.

En résumant, nous avons l'impression que M. Montpellier dans son rapport a voulu attaquer l'accumulateur Edison sans assez le connaître; aujourd'hui l'accumulateur Edison est un produit commercial très en vue, ayant fait ses preuves, et dont l'adoption a marqué une nouvelle ère dans l'histoire des batteries électriques.

M. J. A. MONTPELLIER (Paris). — *En ce qui concerne l'emploi du graphite et du métal en paillettes dans les tubes de la plaque positive, nous ferons remarquer que:*

Lorsque le graphite est à l'état de plombagine très pure et en poudre très fine, il ne se désagrège pas dans un électrolyte alcalin, et sa valeur, au point de vue de la conductance, est bien supérieure à celle des paillettes de nickel.

Nous rappellerons, à ce sujet, que l'emploi des paillettes de nickel n'est pas nouveau, puisqu'il a été breveté en Allemagne le 12 novembre 1904 par la Kœlner Accumulatoren-Werke *de Gottfried Hagen, et que cette même Société avait pris, en 1903, un brevet pour l'emploi de paillettes de graphite nickelées (Pat. 158800); enfin, qu'elle a également signalé l'emploi du graphite en poudre (Pat. allemande 161802).*

M. Edison avait lui-même constaté que les paillettes de nickel étaient attaquées et se recouvraient d'une pellicule très mince d'oxyde non conducteur, et avait signalé l'emploi de paillettes d'un alliage de cobalt et de nickel.

Vu le nombre considérable de brevets pris par M. Edison, il est bien difficile de connaître exactement la composition du mélange qu'il utilise actuellement dans ses nouveaux modèles.

Il importe de bien spécifier qu'il ne faut pas confondre le mot désagrégation *avec le mot* attaque. *Le graphite se désagrège, mais ne s'attaque pas. Il suffit donc de l'employer dans un état de grande division pour former le mélange de matière active, et l'on évite ainsi la désagrégation, tout en assurant un bien meilleur contact avec les particules d'oxyde de nickel.*

Nous tenons aussi à faire remarquer que rien n'empêchait de mélanger les oxydes de nickel avec des paillettes de nickel, si M. Gouin avait jugé utile de le faire, car ce procédé n'est pas brevetable, et est dans le domaine public depuis longtemps.

En ce qui concerne la chute des matières actives, il y a lieu de constater que tous les efforts des chercheurs se sont portés sur ce défaut important, afin d'y obvier; il suffit, pour s'en rendre compte, de consulter les nombreux brevets (Wehrlin, Jüngner, etc.), relatifs aux accumulateurs alcalins.

M. Edison lui-même, dans ses brevets, recommande de mélanger à l'oxyde de nickel des paillettes de graphite ou de nickel, de façon que les paillettes s'appliquent exactement contre les perforations, afin de s'opposer à la chute des matières actives. Si ces dernières n'avaient pas tendance à tomber, nous ne voyons pas pourquoi on se préoccuperait de s'opposer à leur chute.

La conservation de la charge n'a absolument rien de commun avec

l'emploi de l'acier nickelé. Là n'est pas la question; nous pensons et nous prétendons, comme tous les chimistes-électriciens compétents, que le contact, obtenu avec un métal recouvert par voie galvanique d'un autre métal, est moins bon que celui que l'on obtient avec un métal pur. Il faudrait nier les lois de l'électrolyse pour ne pas reconnaître ce fait, qui a pour conséquence d'augmenter encore la résistance, déjà assez grande, des éléments alcalins. Ce phénomène, nous le répétons, ne peut avoir aucune influence sur la conservation de la charge.

Du reste, M. Gouin a abandonné l'emploi de l'acier nickelé à la suite d'essais très précis et absolument concluants que nous ferons connaître ultérieurement.

Au sujet de l'emploi du mercure dans les électrodes négatives, nous serions heureux d'apprendre par quel procédé M. Edison peut obtenir l'amalgamation du fer sans l'intervention d'un dépôt préalable d'un autre métal.

Lors de la décharge, nous ne saisissons pas pourquoi le mercure resterait à sa place, car on a toujours constaté qu'il descendait vers le bas de l'électrode et s'écoulait goutte à goutte dans le bac.

Il en est exactement de même pour les électrodes négatives Gouin, qui n'a pas cru devoir recourir à l'amalgamation. Rien n'empêche toutefois d'amalgamer l'oxyde de fer en le recourrant préalablement d'un métal susceptible de s'amalgamer (cuivre ou argent).

*Quant aux courbes obtenue par l'ingénieur en chef de l'*Edison Storage Battery C., *nous ne pouvons que regretter qu'elles n'aient pas été jointes à son rapport. Nous pourrions leur opposer des courbes certainement équivalentes et peut-être meilleures.*

M. Sharp dit que je n'ai pas mentionné le grave défaut inhérent à tous les accumulateurs alcalins, c'est-à-dire la chute de capacité due à la baisse de la température; nous ferons remarquer que cette diminution de capacité ne dépend pas de cette seule cause et qu'il y en a deux:

1° L'augmentation de résistance de l'électrolyte alcalin, conséquence de la baisse de température;

2° La contraction que subissent les matières actives, notamment dans les électrodes négatives.

La première de ces causes ne peut être évitée. Quant à la seconde, c'est-à-dire la contraction des matières actives, elle peut être fortement atténuée, car elle dépend absolument de la disposition et des constantes physiques des électrodes. A cet égard, la formation autogène des électrodes négatives de l'élément Gouin permet de diminuer cette contraction et, par suite, la baisse de capacité de l'élément. Le même défaut se retrouve dans les accumulateurs au plomb, qui subissent également une chute de capacité due à la contraction des électrodes négatives.

Dans le rapport de M. Holland nous lisons que cet éminent ingénieur conteste l'exactitude du rendement que nous avons indiqué pour les batteries Gouin à poste fixe. Nous nous permettrons de lui faire remarquer que le rendement est fonction:

1° *Du coefficient d'utilisation des matières actives, coefficient qui a été considérablement amélioré par M. Gouin;*

2° *De la durée plus ou moins longue de la décharge;*

3° *Du régime de charge et du régime de décharge.*

M. Holland prétend que l'élément Gouin ne pourra pas avoir une longue durée, par suite de l'emploi du graphite dans les électrodes positives. A cela nous répondrons que, lors des essais effectués par M. Janet, au Laboratoire central d'électricité de Paris, sur un élément Edison qui comportait, à cette époque, du graphite mélangé à la matière active positive, on a constaté que cet élément avait supporté plusieurs centaines de décharges et des inversions du courant de charge, sans que ce traitement ait paru avoir une action quelconque sur la durée des électrodes.

Nous constatons aussi que le compte-rendu de ces essais ne parle nullement de la capacité en watts-heure, et ne mentionne que le rendement en ampères-heure. Nous croyons que la chute certaine de capacité en watts-heure a une toute autre cause que l'emploi du graphite, et qu'elle est due uniquement aux variations de volume des masses actives qui ont pour résultat de déformer des pochettes, et de diminuer progressivement les points de contacts de celles-ci avec la matière active.

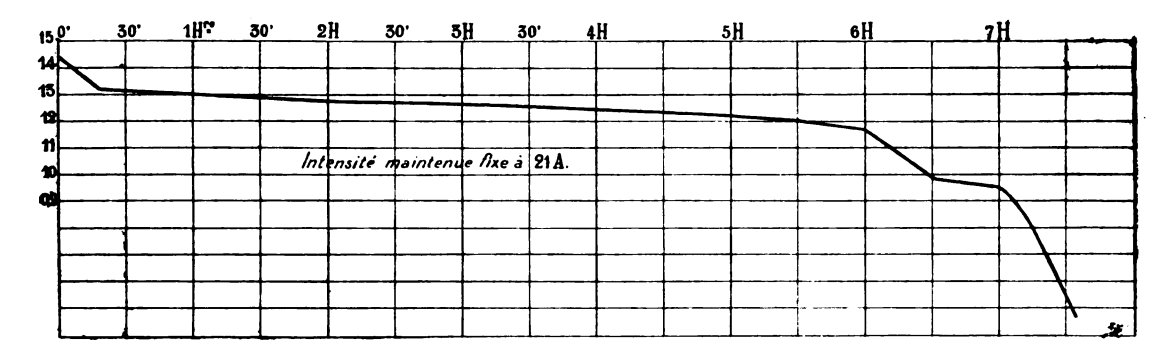
Nous publierons ultérieurement les résultats de nos recherches sur ce sujet et, peut-être, en présence des résultats précis d'expérience que nous soumettrons à M. Holland, l'ingénieur en chef de la Cie Edison sera obligé de reconnaître que nous avions raison.

Au sujet du lavage des éléments Gouin, il y a lieu de faire remarquer que cette prescription était donnée, non pour enlever les matières actives qui se seraient trouvées dans les bacs, puisque leur chute ne se produit pas, mais bien pour remplacer l'électrolyte carbonaté. Avec le type actuel, on n'a plus besoin d'avoir recours à cette manipulation, grâce à un dispositif nouveau qui empêche toute rentrée d'air dans l'élément, aussi bien en période de charge qu'en période de décharge.

*Enfin, M. Holland rectifie les valeurs indiquées dans ma Note, relatives à la capacité. A cela, nous répondrons que les valeurs données ont été prises dans un article signé de M. Holland lui-même, et publié dans l'*Electrician *de Londres (vol. 66, p. 47 et 83), où l'auteur décrit longuement les nouveaux types d'accumulateurs Edison.*

Pourquoi, les accumulateurs Edison donnant d'aussi bons résultats aux États-Unis, les résultats d'essais faits en France sont-ils différents?

Sans vouloir attaquer la haute valeur scientifique de M. Edison, nous nous permettrons de lui dire qu'il y a toujours moyen de réaliser un progrès. La preuve en est donnée par la lampe à incandescence à filaments métalliques, si on se souvient que M. Edison, lors de la mise au point de sa lampe à filament de carbone, a déclaré qu'il avait expérimenté tous les métaux, et qu'à la suite de ces essais infructueux il avait reconnu que seul le carbone pouvait être utilisé pour cette application.



Quant aux valeurs données par M. Holland à la fin de son Rapport, et relatives à la puissance de l'élément, type A-6, du poids de 8,85 kg., nous donnerons, à titre de renseignement, la courbe de décharge d'un élément Gouin du poids de 6,090 kg. Cet élément a une capacité utile de 136,5 ampères-heure et une puissance totale de 170,6 watts-heure, soit 28 watts-heure par kilogramme. Nous ferons remarquer, à ce propos, que les derniers catalogues de la Compagnie Edison garantissent pour un élément analogue 24 watts-heure par kilogramme.

Nous terminerons en disant que le brevet Gouin est un brevet relatif à un dispositif physique d'électrode qui a pour but, nous le répétons:

1° D'empêcher totalement les chutes des matières actives, chutes constatées par tous les électriciens dans les éléments Edison;

2° D'empêcher toute dilatation ou déformation des électrodes, inconvénient reconnu par M. Holland dans son Rapport.

En résumé, le brevet Gouin a été accordé en Allemagne et aux États-Unis, ce qui est une garantie contre toute revendication.

Nous avons répondu à toutes les objections présentées par la Société américaine des accumulateurs Edison et nous ne continuerons pas une polémique inutile.

Nous estimons que le seul moyen correct d'éviter toute discussion ultérieure est de soumettre aux essais les deux accumulateurs Edison et Gouin dans un laboratoire absolument indépendant.

Les méthodes d'épuration de l'eau par l'électricité

Rapporto sul Tema N. 17 del Congresso.

Relatore Dr. GG. ERLWEIN (Berlin).

L'électricité est devenue, sous des formes variées, un auxiliaire précieux pour les nombreuses branches de l'industrie. On pourrait donc s'étonner à bon droit si la grande et importante industrie de l'épuration des eaux n'avait pas, elle aussi, tiré parti de l'électricité. En effet on a cherché de bonne heure, à une époque où l'électricité n'en était encore qu'au début de son développement industriel, à utiliser le courant électrique pour l'épuration de l'eau. On avait cru trouver, dans l'action électrolytique du courant, un moyen pratique pour purifier l'eau, et on construisit des installations d'essai, dans lesquelles l'eau fut soumise à l'électrolyse entre des électrodes solubles. Mais ces installations ne furent utilisées que pour traiter les eaux d'égout des villes, dont l'épuration était déjà pour l'hygiène des villes, comme elle l'est encore aujourd'hui, un problème important et difficile à résoudre. Quant à la question non moins importante de l'épuration et de la stérilisation des eaux potables par l'électricité, il n'était pas encore possible de l'aborder dès le début, parce que ces eaux, contrairement aux eaux d'égout, ne se prêtent pas à l'électrolyse directe, à cause des quantités extrêmement faibles de sels solubles qu'elles contiennent.

La première grande installation construite fut une installation du système Hermitte. L'eau à épurer coulait entre des électrodes en fer ou en fer et en aluminium, dans des bacs montés en série. On a pu constater, dans cette installation, une action très con-

sidérable de l'électrolyse sur la précipitation des matières en suspens, et sur l'élimination de l'odeur putride, ainsi qu'une réduction du degré d'oxydation, c'est-à-dire une diminution de la quantité de substances organiques en solution dans l'eau. Cependant une commission d'experts, chargée de visiter l'installation et de faire un rapport, reconnut bientôt que l'effet du procédé est dû presque exclusivement aux sels de fer solubles (chlorures et sulfites ou hydroxydes) qui sont formés par l'électrolyse sur l'anode, et dont les propriétés précipitantes ne se distinguent en rien de celles des sels de fer qu'on trouve dans le commerce, sels qui ont en outre le grand avantage d'être moins chers que les sels produits par la voie directe de l'électrolyse. Le procédé Hermitte fut donc abandonné comme n'étant pas assez économique, et parce que le degré d'épuration obtenu ne remplissait pas toutes les conditions exigées.

Presque en même temps que le procedé Hermitte apparut un autre procédé électrique qui, au lieu de faire agir le courant directement sur les eaux d'égout, consistait à l'utiliser d'abord pour électrolyser de l'eau de mer entre des électrodes insolubles, puis à verser dans l'eau d'égout la solution d'hypochlorure de soude ainsi formée par les produits qui se déposent sur l'anode et sur la cathode. Mais ce procédé n'a pas répondu non plus, sous le rapport de l'efficacité et de l'économie, aux besoins pratiques et aux exigences de la technique des eaux, de sorte qu'il n'a pas tardé non plus à être abandonné.

C'est seulement depuis quelque temps, c'est-à-dire depuis qu'on a proposé, en Amérique et en Angleterre plutôt que dans les pays du continent, d'utiliser le chlore sous forme d'hypochlorites solubles dans l'eau pour stériliser les eaux potables, que l'électricité, c'est-à-dire l'électrolyse, a pris une nouvelle importance pour la techniqne des eaux, parce que c'est par la voie électrolytique que ces sels peuvent être fabriqués de la façon la plus commode, en supposant qu'on dispose de sel marin et d'énergie à bon marché. Les appareils qui servent à fabriquer l'hypochlorite de soude, c'est-à-dire l'hypochlorite soluble dans l'eau, au moyen de solutions de sel de cuisine, ont été perfectionnés dans le courant des dix dernières années sous le rapport de la simplicité et de la sûreté du service, ainsi que de l'utilisation du courant, de sorte qu'ils peuvent être considérés aujourd'hui comme des instruments économiques et sûrs applicables dans la grande industrie chimique, et qu'on peut par

conséquent les recommander aussi pour les usages de la technique des eaux.

On peut distinguer principalement deux groupes d'électrolyseurs de ce genre:

a) les appareils sans diaphragme, dans lesquels les éléments du sel de cuisine qui deviennent libres sur les électrodes insolubles, c'est-à-dire le chlore d'une part et le sodium ou la soude d'autre part, se réunissent dans le bain même pour former des hypochlorites, et

b) les appareils à diaphragme, dans lesquels les produits de la cathode et ceux de l'anode sont obtenus séparément, à des endroits différents l'un de l'autre, et peuvent être employés ensuite en dehors du bain séparément ou réunis dans des appareils d'absorption spéciaux, pour former de nouveau des solutions pures d'hypochlorite de haute concentration.

L'électrolyte employé dans les appareils de ces deux groupes est presque toujours une solution concentrée de sel de cuisine, de sorte que l'hypochlorite des appareils sans diaphragme contient naturellement toujours d'assez grandes quantités de sel de cuisine, tandis que les appareils à diaphragme du deuxième groupe fournissent des solutions d'hypochlorite presque pures, ne contenant que très peu de sel de cuisine.

Quand il s'agit d'eau potable, il faut éviter que cette eau se charge de chlorures; c'est pourquoi il est nécessaire d'employer des électrolyseurs à diaphragme pour la fabrication des solutions d'hypochlorite destinées à la stérilisation des eaux potables. Pour le traitement des eaux d'égout, au contraire, où une augmentation plus ou moins grande de la quantité de sel de cuisine est sans importance, les électrolyseurs sans diaphragme peuvent être employés également pour la fabrication de l'hypochlorite.

En ce qui concerne les électrolyseurs à hypochlorite sans diaphragme et les électrolyseurs à diaphragme pour la fabrication des chlorures alcalins ou la production de l'hypochlorite en dehors du bain, la technique dispose de différents systèmes qui ont fait leurs preuves en pratique. Ces appareils se distinguent les uns des autres par la disposition des électrodes et par la matière dont elles se composent, ainsi que par la durée de tout l'appareillage et par l'utilisation du courant, c'est-à-dire par la quantité de chlore ou d'alcali produit par kilowatt-heure. Il n'est pas possible de mentionner ici tous les bons électrolyseurs dont la technique dispose, car cela nous conduirait trop

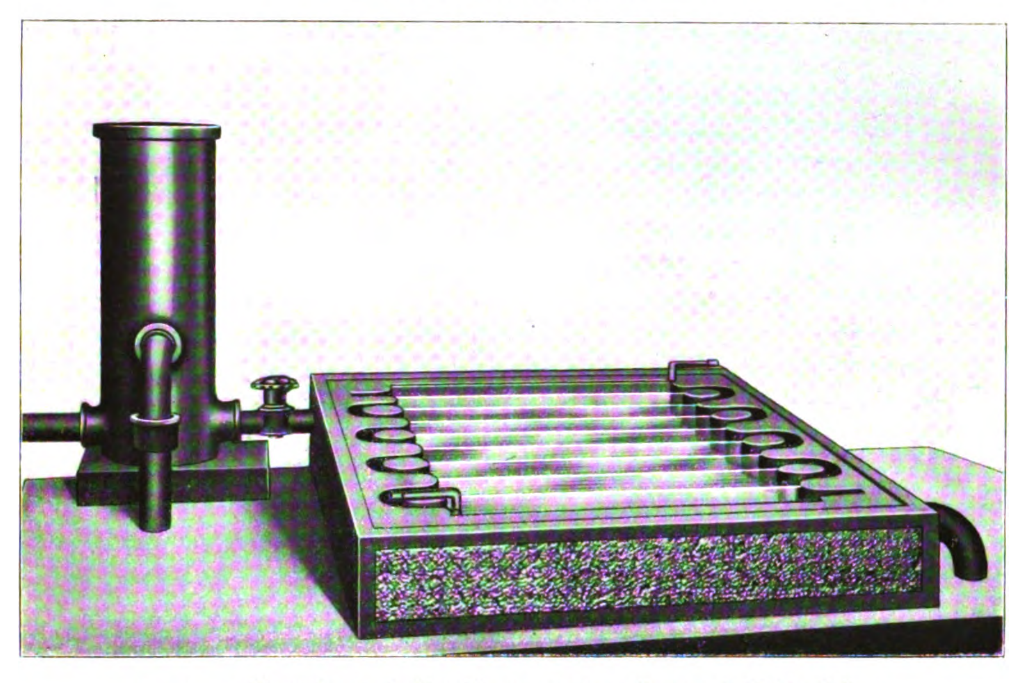


Fig. 1. — Electrolyseur de blanchiment, système Siemens & Halske-Kellner.



Fig. 2. — Electrolyseur à chlore Billiter-Siemens-Halske.

loin; il faut donc se reporter à ce sujet aux nombreuses publications spéciales qui existent déjà. Je me bornerai ici à vous donner une brève caractéristique de deux types d'appareils dont j'ai pu apprécier concrètement les résultats dans les laboratoires et dans le service pratique des grands établissements. Ce sont:

1) l'électrolyseur bien connu brevet Kellner et
2) l'électrolyseur Siemens & Halske (brevet Billiter).

La fig. 1 représente un électrolyseur Kellner, dans lequel une solution de sel de cuisine à 15 % circule entre des électrodes en platine-iridium, en traversant un réfrigérant, et reste soumise à l'action de l'électrolyse jusqu'à ce que la solution contienne 20 à 30 % de chlore efficace sous forme d'hypochlorite de soude. L'appareil, dont les différents compartiments contiennent les réseaux en platine-iridium couplés en bipolaire qui servent d'électrodes, est construit pour être raccordé aux tensions de régime usuelles des centrales; il fournit par kilowatt-heure environ 167 g. de chlore, sous forme de solution saline d'hypochlorite contenant environ 25 g. de chlore actif par litre. En se basant sur les prix moyens payés en Allemagne pour la force motrice et pour le sel, et en admettant un entretien rationnel et l'amortissement usuel, 1 kg. de chlore revient à environ 40 à 50 centimes.

La fig. 2 représente un électrolyseur à chlore et alcali (système Billiter), dans lequel le chlore et le sodium ou la soude caustique, c'est-à-dire les produits de la décomposition électrolytique, sont obtenus séparément. Cette figure montre un bain avec diaphragme suivant le brevet allemand N° 191234, bain dans lequel le chlore se dégage au-dessus du diaphragme, tandis que la soude caustique se dépose en dessous, en dégageant de l'hydrogène de formation secondaire. La puissance de l'appareil est la suivante:

par kilowatt-heure, 305 g. de chlore

produit dans une solution de sel de cuisine presque complètement saturée. On peut obtenir ici des concentrations jusqu'à 150 g. de chlore par litre. Avec ce procédé le prix de revient du chlore peut descendre jusqu'à 20 à 25 centimes.

---

(1) Littérature: " Papier-Fabrikant ", 1911, n. 1 et 11; *Wochenblatt für Papierfabrikation,* 1911, n. 19.

Quant aux quantités de chlore qui ont été employées jusqu'ici par mètre cube d'eau, dans la pratique de l'épuration des eaux potables et des eaux d'égout, elles varient de la façon suivante:

a) pour les eaux potables, entre 1 et 10 g. par mètre cube,

b) pour les eaux d'égout préalablement épurées par le procédé biologique entre 5 et 10 g., et pour les eaux d'égout ordinaires débarrassées seulement des matières en suspension, entre 50 et 100 g. par mètre cube, pour des durées de contact qui varient suivant la nature de l'eau. Il faut remarquer ici que sous le rapport de la valeur bactéricide, c'est-à-dire de l'efficacité de l'action du chlore sur les bactéries contenues dans l'eau, et notamment sur les germes pathogènes du choléra et de la fièvre typhoïde, des différences profondes existent entre les travaux des bactériologistes allemands et ceux des bactériologistes étrangers, différences qui seront sans doute éclaircies au cours du développement et du perfectionnement du procédé au chlore.

Tandis que le procédé dont il vient d'être question, c'est-à-dire le procédé de stérilisation de l'eau par le chlore électrolytique, n'a pas encore réussi à s'implanter et à s'assurer une place incontestée, je dirai maintenant quelques mots de deux autres méthodes qui ont conquis dans la pratique de la stérilisation des eaux potables une importance déjà grande, qui persistera selon toute probabilité. Ces deux méthodes sont les suivantes:

1) l'ozonisation et

2) le traitement de l'eau par les rayons ultra-violets.

La stérilisation des eaux potables par l'ozone.

L'action fortement oxydante et désinfectante de l'ozone est déjà connue depuis la découverte de ce corps par Schönbein en 1840. Bien que l'emploi de l'ozone pour la désinfection ait été proposé depuis par différents savants, c'est seulement dans les dix dernières années du siècle passé que la science et l'industrie ont réussi enfin à perfectionner le procédé de stérilisation de l'eau potable de manière à le rendre utilisable et pratique pour le service des distributions centrales d'eau. Le procédé basé sur l'emploi de l'ozone n'a pu être appliqué dans l'industrie des eaux que lorsque l'industrie électrique eut réussi à construire des appareils à ozone ayant un fonctionnement sûr et un bon rendement en ozone concentré, et lorsque plusieurs

autorités et instituts officiels de bactériologie et hygiène (l'Office Impérial d'Hygiène allemand, l'Institut Koch et l'Institut Pasteur) eurent constaté, par des essais en petit, l'action bactéricide certaine de l'ozone sur les germes pathogènes du choléra, de la fièvre typhoïde et de la dyssenterie. La voie fut ouverte par le Dr. O. Fröhlich et par ses collaborateurs de la maison Siemens et Halske. Comme suite à leurs premiers travaux, et aux résultats d'expérience que la maison citée plus haut avait recueillis dans plusieurs usines d'ozonisation construites à titre d'essai et fonctionnant sur une base technique, résultats qui furent publiés en 1888-89, plusieurs systèmes d'ozonisation de l'eau apparurent successivement. Ce furent, dans l'ordre chronologique, ceux de: Siemens & Halske, Tindal (appelé maintenant de Frise), Abraham-Marmier, docteur Marius Otto et Vosmaer, systèmes auxquels est venu s'ajouter récemment celui de Gérard. Ces systèmes ont été employés, soit seuls, soit combinés avec d'autres, dans plusieurs usines élévatoires sur lesquelles je reviendrai plus loin en détail.

L'outillage de ces systèmes comprend deux sortes d'appareils:

1° les appareils à ozone (ozoniseurs), dans lesquels l'ozone est produit par l'action d'une haute tension électrique sur de l'air, et

2° les tours de stérilisation (stérilisateurs), c'est-à-dire des tours d'arrosage, à ruissellement ou à colonne pleine, dans lesquelles l'eau est mise en contact avec l'air chargé d'ozone, refoulé ou aspiré, l'efficacité du contact étant augmentée par une répartition poussée très loin.

Avant d'aborder la description des différents systèmes d'ozonisation et des usines d'ozonisation correspondantes, je dirai quelques mots des propriétés et de la préparation de l'ozone, en tant que ceci aura une importance spéciale pour notre sujet.

L'ozone, c'est-à-dire l'oxygène actif tri-atomique, a la propriété de céder un atome lorsqu'il est en contact avec des substances oxydables, et de se transformer de nouveau en oxygène inactif ordinaire di-atomique. L'ozone gazeux se décompose par lui-même, et la vitesse de sa décomposition dépend de la température et de sa concentration. L'air chargé d'ozone raréfié se décompose par exemple lentement à la température des appartements, assez vite à 200° centigrades, et instantanément à 1000°. Sous forme de gaz entièrement pur qui, soit dit en passant, n'a pas encore été fabriqué industriellement jusqu'ici, l'o-

zone se dissout dans l'eau à peu près dans la proportion de 1:1; l'ozone fortement raréfié et mélangé avec l'air, tel qu'il est employé actuellement pour l'ozonisation industrielle de l'eau, se dissout suivant les lois de Henri-Dalton sur la pression partielle. L'ozone est un oxydant extrêmement énergique, qui a sur les oxydants employés principalement dans l'industrie chimique, c'est-à-dire le permanganate, le chlorate, l'acide chlorique et le chlorure de chaux, etc., l'avantage de ne laisser après son action aucun sel acide gênant, de sorte qu'il se prête très bien pour cette raison au traitement des denrées de consommation, et par conséquent aussi des eaux potables.

Quant à la fabrication de l'ozone, il existe des méthodes purement chimiques et des méthodes électrolytiques, thermiques, photo-chimiques et électriques ou électro-cinétiques. Les méthodes chimiques sont basées sur l'oxydation d'éléments déterminés tels que le phosphore, ou sur la transformation de certains oxydes par des acides. Les méthodes électrolytiques consistent à électrolyser l'acide sulfurique en employant de très fortes densités de courant sur l'anode qui active l'oxygène; les méthodes thermiques sont basées sur l'activation de l'oxygène de l'air quand on fait passer un courant d'air à une vitesse déterminée sur des semi-conducteurs électriques fortement chauffés, comme par exemple des filaments Nernst, etc.; quant aux méthodes photo-chimiques, elles consistent à irradier de l'air ou de l'oxygène avec de la lumière ultra-violette émise par des lampes à mercure en quartz ou des lampes Uviol. Enfin les méthodes électriques ou électro-cinétiques sont basées sur la décharge de courants à haute fréquence dans l'air.

La seule méthode applicable actuellement pour les usines de l'industrie des eaux, c'est la dernière méthode, c'est-à-dire la décharge de courants électriques à haute tension. Le principe de cette méthode consiste à produire entre deux pôles à haute tension séparés par de l'air, la décharge dite lente ou fusante, qui est accompagnée par une production d'ozone. Cette méthode qui a été découverte par Werner von Siemens et par Berthelot, a été employée dans le tube à ozone bien connu, qui se compose de deux cylindres concentriques en verre raccordés aux deux pôles d'une haute tension et séparés par un espace dans lequel on fait passer un courant d'air. Tous les appareils à ozone qui furent construits depuis, y compris les ozoniseurs techniques employés actuellement dans l'industrie et dans les

usines d'ozonisation de l'eau, sont basés sur le même principe et leur type est le même que celui de ces tubes à ozone. Les différents systèmes ne se distinguent que par la façon dont la décharge électrique violette est produite; dans les uns elle a lieu entre des plaques en verre, dans d'autres entre des plaques en métal, et dans d'autres enfin entre des plaques en métal et des plaques en verre. Suivant que l'on emploie des cylindres ou des plaques en verre mince ou épais, et que la décharge se produit dans un espace large ou étroit, c'est-à-dire suivant que la résistance du diélectrique est plus ou moins grande, on emploie des tensions plus ou moins fortes, pour faire passer la même quantité de courant par unité de surface de décharge, c'est-à-dire pour obtenir la même densité de courant; c'est pour cela du reste que les tensions de régime des ozoniseurs industriels sont très différentes et varient entre 6000, 8000 et 15000 volts et davantage, suivant la nature des électrodes et leur disposition dans les différents types d'appareils à ozone.

Les batteries à ozone agissent comme des condensateurs; c'est pourquoi il faut tenir compte, à cause de l'avance, d'un décalage de phases (cos φ varie suivant la fréquence entre 0,9 et 0,5), qui peut être réduit par des bobines de self-induction. Suivant la différence dans la matière qui constitue les électrodes et dans la forme de ces dernières, les appareils réfrigérants varient également dans les différents ozoniseurs industriels; ces réfrigérants, qui fonctionnent avec de l'eau, ont pour but d'empêcher un trop grand échauffement des électrodes dans un service permanent. Relativement à la formation de l'ozone et au rendement productif des ozoniseurs industriels, il faut remarquer que deux phénomènes entièrement différents se produisent dans l'espace de décharge des tubes à ozone. Ce sont l'action ozonisante et l'action désozonisante du courant. Le courant actif qui agit ici n'est que le courant dynamique qui traverse l'air de l'espace de décharge, et non pas le courant de charge nécessaire pour charger les électrodes, qui doivent être considérées comme des surfaces de condensateur. Mais ce courant dynamique ne suit pas la loi de Faraday; il n'agit donc pas d'une façon électrolytique et produit au contraire beaucoup plus d'ozone qu'il ne le ferait s'il suivait cette loi. Quant à l'action désozonisante du courant, elle croît d'autant plus que la concentration de l'ozone est plus grande dans l'espace de décharge, c'est-à-dire que la vitesse du courant d'air est plus faible, de

sorte que le rendement du courant en ozone diminue en proportion. C'est pourquoi il n'est pas possible de produire de l'ozone de concentration quelconque au moyen de la décharge électrique lente; il faut au contraire, pour des raisons physico-chimiques, qu'il existe une concentration limite, dans laquelle l'action ozonisante et l'action désozonisante de la décharge se font équilibre, c'est-à-dire où le rendement devient nul. Les indications sur la production d'ozone doivent donc toujours être faites en corrélation avec la concentration. On rencontre fréquemment dans les publications spéciales des chiffres de production d'ozone sans l'indication de la concentration; on voit à première vue, par la grande valeur de ces chiffres, que ceux-ci ne peuvent s'appliquer qu'à de l'ozone d'une concentration extrêmement faible, mais à cause de sa grande raréfaction un pareil ozone n'a aucune valeur pratique quelconque, ni pour l'oxydation dans l'industrie chimique, ni pour l'ozonisation dans l'industrie des eaux.

Dans l'industrie des eaux, on emploie des concentrations de 1 à 6 gr. par mètre cube, suivant les différents systèmes de stérilisation; pour donner une image exacte de la valeur des ozoniseurs techniques, il faut donc que les indications de puissance soient faites aussi en tenant compte de cette concentration. Le moyen le plus sûr pour caractériser la puissance d'un appareil, c'est la représentation graphique, comme celle qui a été choisie par exemple dans la figure 3 pour la caractéristique de l'ozoniseur à caisse Siemens de l'ancien type, à 8 éléments tubulaires, employé dans des usines d'ozonisation de l'eau. Le diagramme, sur lequel les courbes de production et la courbe de concentration sont dirigées en sens inverse, fait ressortir clairement les rapports entre la concentration, c'est-à-dire la quantité d'air qui passe, et la production d'ozone.

Cependant les valeurs indiquées par cette courbe sont déjà dépassées de 25 à 30 % relativement à la production de l'ozone, dans les nouveaux types Siemens pour la grande industrie, ainsi que dans des ozoniseurs d'autres systèmes.

Je dirai de suite ici que pour produire un kg. d'ozone d'une concentration (= grammes d'ozone par mètre cube d'air ozonisé) de 1, 2 et 4, il faut généralement dans les nouveaux appareils respectivement 14, 15 et 20 kilowatt-heures, c'est-à-dire 16, 2 ou 20, 2 ou 27 ch.-heures. En comptant le cheval-heure à raison de 3 pfennigs (3,75 cmes), chiffre qu'on peut admettre

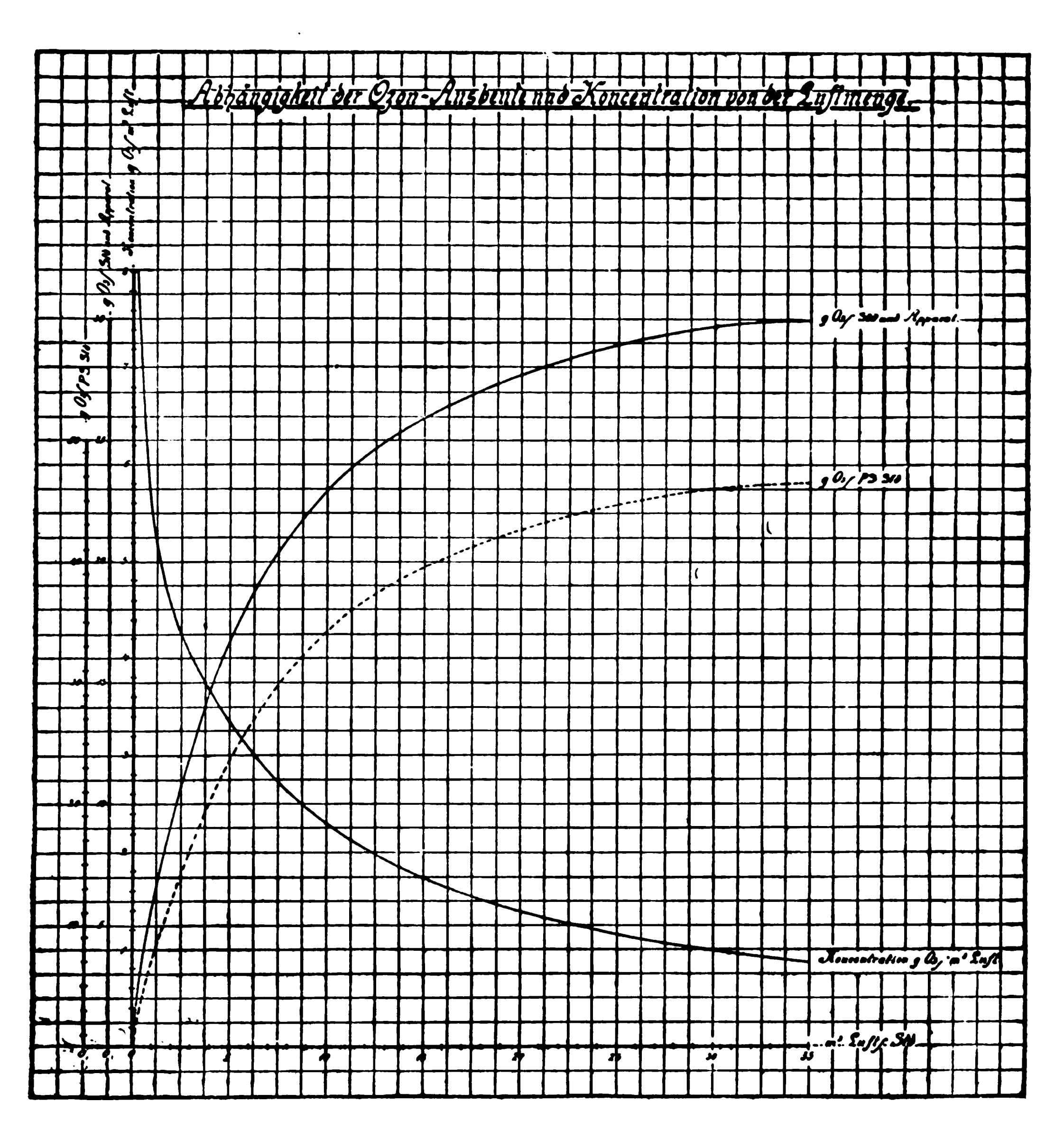


Fig. 3. — Caractéristiques d'un ozoniseur industriel Siemens.

par exemple dans les grandes installations à gaz pauvre, le kg. d'ozone d'une concentration de 1, 2 et 4 revient dans une installation industrielle à M. 0,49 - 0,60 - 0,81 (Fr. 0,61 - 0,76 - 1,—) si l'on ne compte que *la force motrice seule*, et à M. 1,— - 1,41 ou 1,65 (Fr. 1,25 - 1,76 - 2,05) y compris les frais généraux, les intérêts et l'amortissement de l'installation à ozone. Lorsqu'on emploie de l'oxygène pur, les chiffres sont les suivants, en tenant compte de ce que la production est triple: 5,4 ou 7 ou 9 ch.-heures, soit pour le prix du kg. d'ozone M. 0,16 - 0,20 - 0,27 (Fr. 0,20 - 0,25 - 0,34) pour *la force motrice seule*, et M. 0,57 - 0,75 - 0,87 (Fr. 0,71 - 0,94 - 1,09) y compris les autres frais généraux; toutefois il faut encore ajouter à ces chiffres le prix de l'oxygène pur.

Passons maintenant aux différents systèmes d'ozonisation. Auparavant je dirai quelques mots des ozoniseurs et des tours de stérilisation employés dans ces différents systèmes.

I. Siemens & Halske.

Ozoniseurs. — La décharge lente électrique est produite entre des cylindres en verre et en aluminium. Un cylindre en verre et un cylindre en aluminium, refroidis tous deux par de l'eau sur leur surface extérieure, forment un élément de tube à ozone fonctionnant indépendamment; 6 ou 8 de ces éléments sont généralement réunis dans une caisse en fonte pour former une unité d'appareil plus grande. La fig. 4 représente une pareille caisse, dont la partie moyenne est traversée par l'eau de refroidissement et contient les éléments de tubes à ozone, juxtaposés et parallèles; la partie vide inférieure constitue l'espace dans lequel entre l'air à ozoniser, et la partie supérieure sert à recevoir et à évacuer l'air ozonisé. La haute tension de régime est de 6000 à 8000 volts, suivant la fréquence du courant alternatif employé; un pôle de la haute tension, celui qui est raccordé au tube en verre, est mis à la terre par l'eau de refroidissement et par la caisse en fonte, de sorte que l'ozoniseur peut être touché sans danger par le personnel sur ses faces extérieures accessibles, malgré l'emploi de la haute tension. Les appareils à ozone en forme de caisse sont construits pour la pratique en deux modèles: un modèle horizontal et un modèle vertical.

Tour de stérilisation. — C'est une tour d'arrosage en maçonnerie, d'environ 2 m. de hauteur, remplie avec des pierres de la grosseur d'un œuf de pigeon; l'eau qui traverse cette tour de haut en bas, finement répartie, rencontre un courant d'air

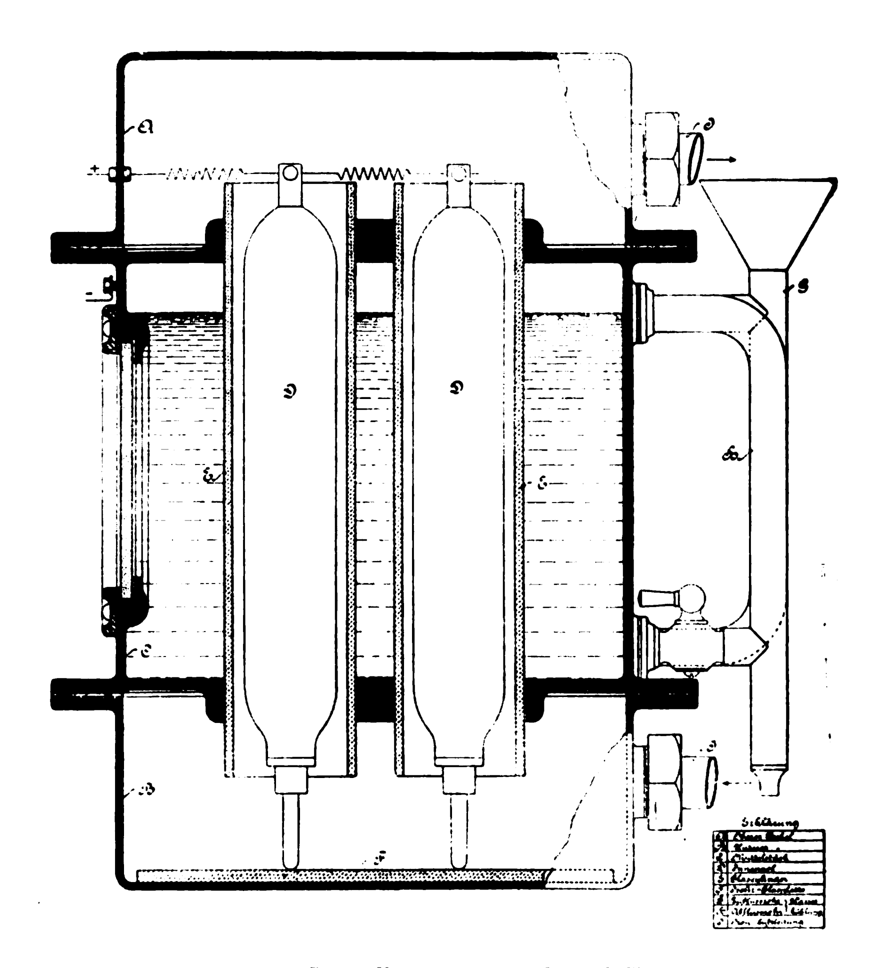


Fig. 4. — Coupe d'un ozoniseur industriel Siemens.

ozonizé dirigé en sens inverse et refoulé de bas en haut. L'ozone traverse la tour avec une concentration appropriée (1,5 à 2,5) et en grand excès; la quantité qui n'est pas absorbée et utilisée retourne à l'ozoniseur par un mouvement de circulation (fig. 5).

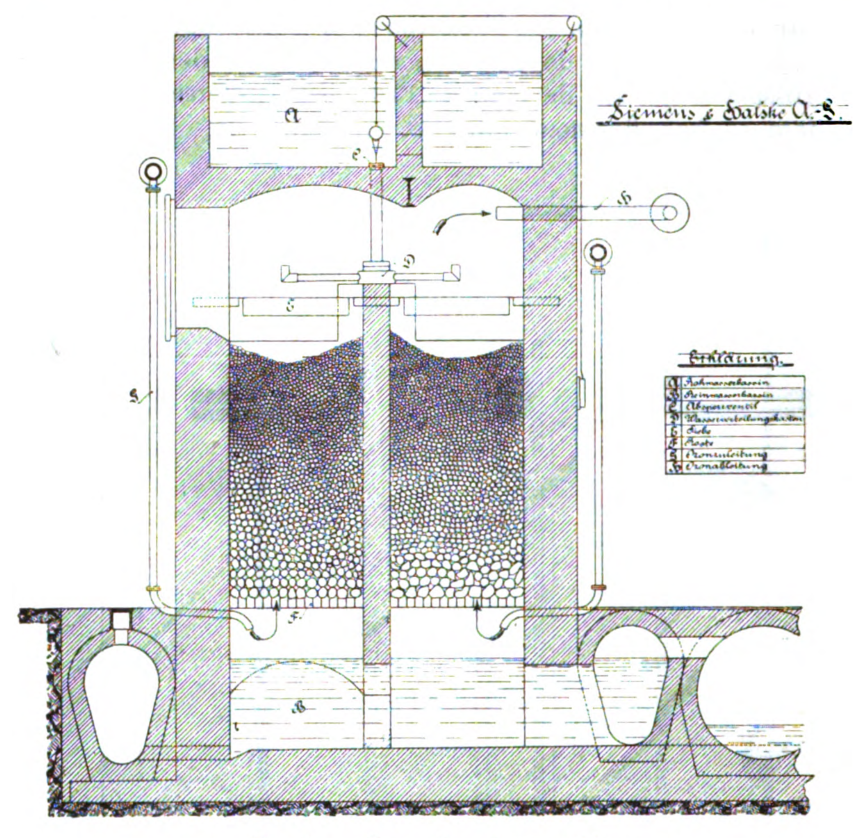


Fig. 5. — Coupe d'une tour scrubber.

II. Von Tindal de Frise.

Ozoniseurs. — La décharge lente est produite par du courant alternatif entre métal et métal, c'est-à-dire entre une rigole en métal et un plateau en métal perpendiculaire à l'axe longitudinal de la rigole. La rigole en fonte a une double paroi qui est traversée par de l'eau de refroidissement et fermée hermétiquement en haut par du verre; à l'intérieur de cette double paroi se trouvent les connexions isolées du pôle à haute tension qui n'est pas mis à la terre, c'est-à-dire des plaques en métal. Sur le circuit du pôle qui n'est pas mis à la terre se trouvent, en dehors de l'ozoniseur, de grandes résistances qui sont formées par de minces tubes en verre remplis de glycérine, et qui ont

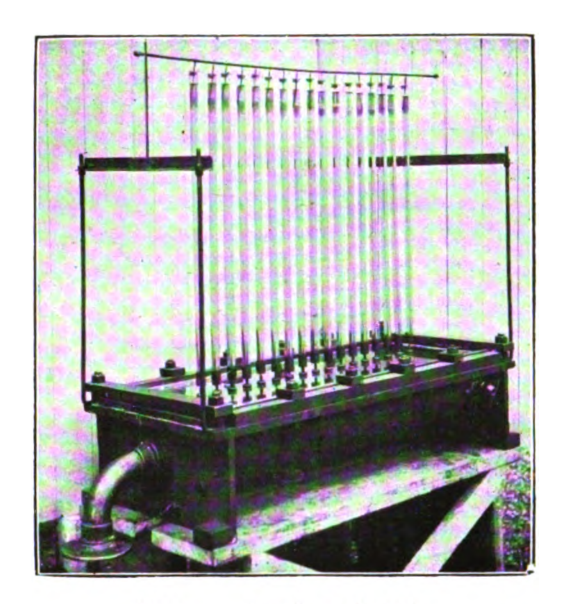


Fig. 6. — Ozoniseur de Frise.

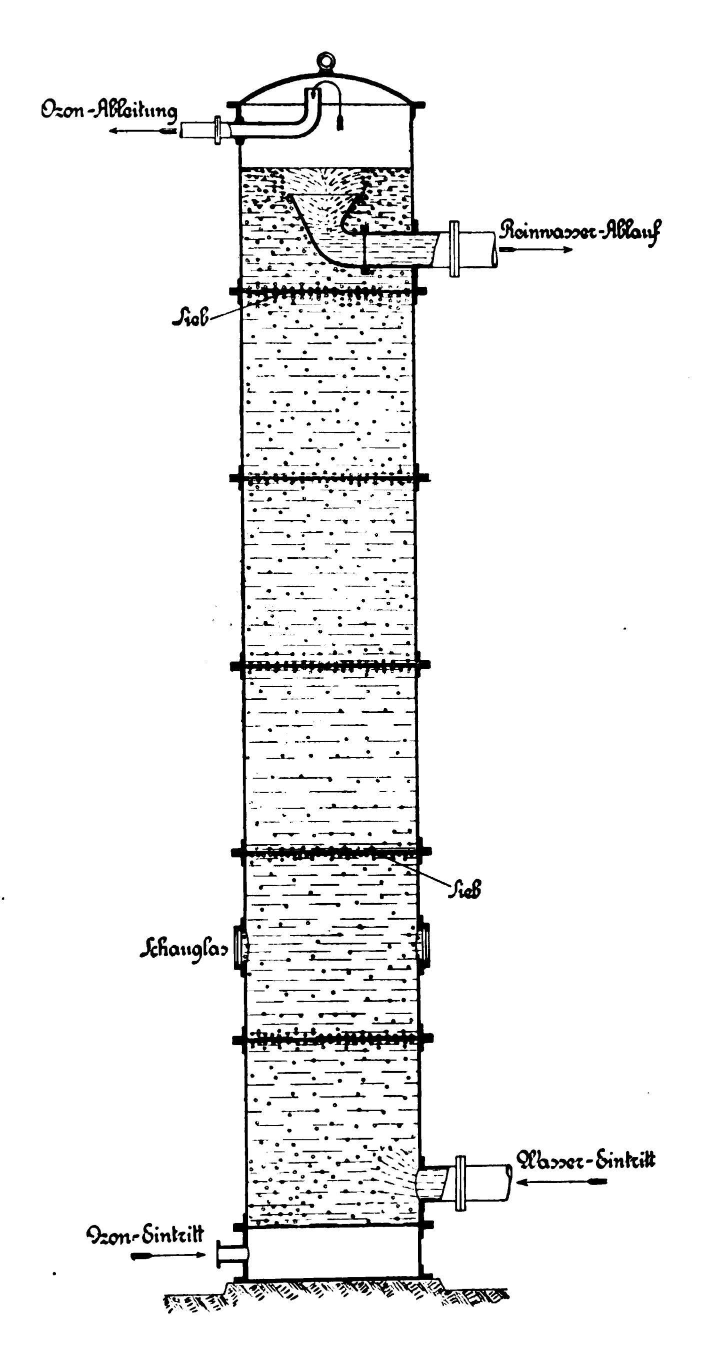


Fig. 7. — Tour de stérilisation d'eau, système Siemens - de Frise.

pour but d'empêcher les décharges par des étincelles et les court-circuits nuisibles.

Comme il y a dans la rigole en métal plusieurs plaques de décharge parallèles, les résistances extérieures en verre et en glycérine intercalées sur le circuit forment une sorte de grille au-dessus de l'appareil à ozone (fig. 6).

Tours de stérilisation. — Ce sont des tours en fer de 6 à 7 m. de haut et de 1 m. de large, qui contiennent plusieurs cloisons transversales perforées, formées par des plaques en celluloïde. L'eau traverse la tour de bas en haut en colonne pleine; l'ozone est également refoulé de bas en haut à travers la tour, où il se divise en de nombreuses petites bulles avantageuses pour l'absorption, chaque fois qu'il traverse une cloison transversale. En choisissant convenablement la section de la tour et la vitesse de l'eau, on peut régler à volonté la durée du contact de l'eau avec l'ozone (fig. 7).

III. Abraham - Marmier.

Ozoniseur. — La décharge est produite à 12.000-15.000 volts entre deux plaques de verre d'un mètre carré de surface; les faces extérieures de ces plaques sont refroidies par de l'eau qui traverse des caisses en métal adjacentes. Pour empêcher les court-circuits entre les pôles à haute tension, une résistance en forme de parapluie est intercalée sur le courant d'eau de refroidissement entre la conduite d'eau commune et les corps réfrigérants. Des caisses fermées hermétiquement contiennent une rangée de plaques de décharge perpendiculaire au fond de la caisse, et réunies pour former une unité d'appareils plus grande.

Tour de stérilisation. — C'est une tour d'arrosage dans laquelle l'eau, qui ruisselle de haut en bas, rencontre un courant d'air ozonisé dirigé en sens inverse (fig. 8).

IV. Dr. Marius Otto.

Ozoniseur (ancien type). — La haute tension électrique de 11.000 à 15.000 volts se décharge entre un cylindre extérieur

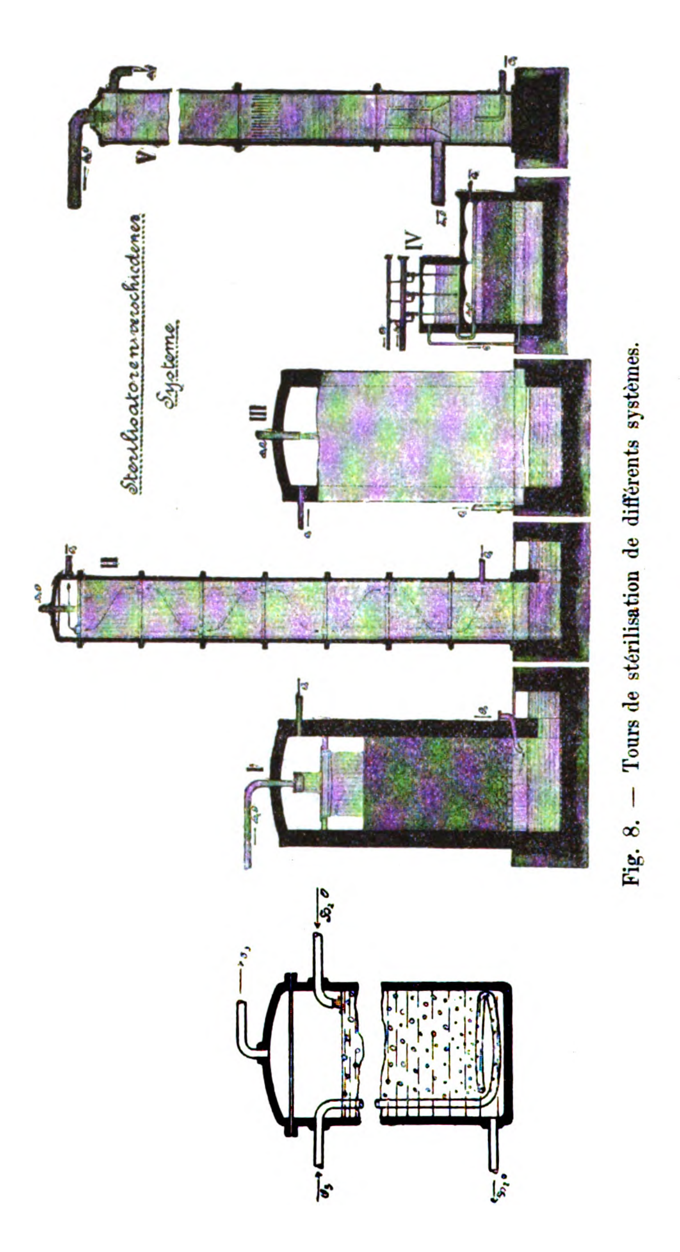


Fig. 8. — Tours de stérilisation de différents systèmes.

fixe en fer et une rangée de plaques rondes en aluminium, portées par un arbre horizontal tournant au centre du cylindre en fer (fig. 9).

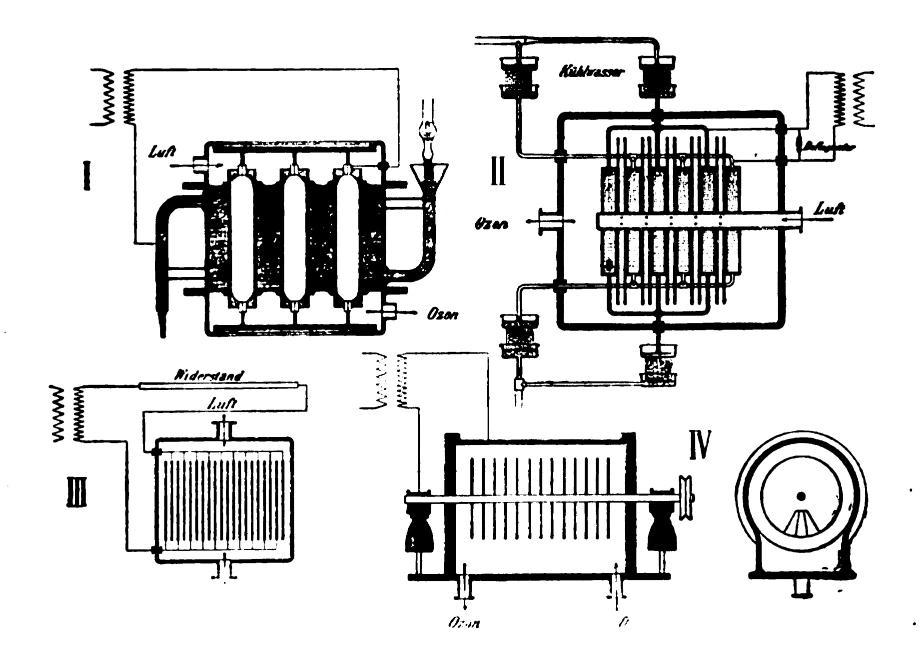


Fig. 9. — Ozoniseurs de différents systèmes.

Tour de stérilisation. — C'est une tour dans le genre des tours d'arrosage, dont la partie supérieure est munie d'un émulseur qui aspire l'air ozonisé à la façon des trompes à eau bien connues ou des injecteurs Körting, et qui mélange d'abord l'eau avec l'ozone. L'eau est donc d'abord soumise à un traitement préalable, tandis que l'ozone continue à agir sur l'eau qui coule sur une matière de répartition fixe, dans la partie de la tour qui se trouve sous l'émulseur.

V. Vosmaer.

Ozoniseur. — Éléments cylindriques et décharge entre métal et métal, avec condensateur intercalé et bobine d'induction sur

le circuit de service, pour éviter la production d'étincelles ou de court-circuits dans l'espace de décharge.

Tour de stérilisation. — Tour en forme de large conduite d'eau d'environ 10 m. de hauteur, à travers laquelle l'eau coule en colonne pleine. L'air ozonisé finement pulvérisé et divisé à son entrée perle à travers cette eau dans toute l'étendue de la colonne (fig. 9).

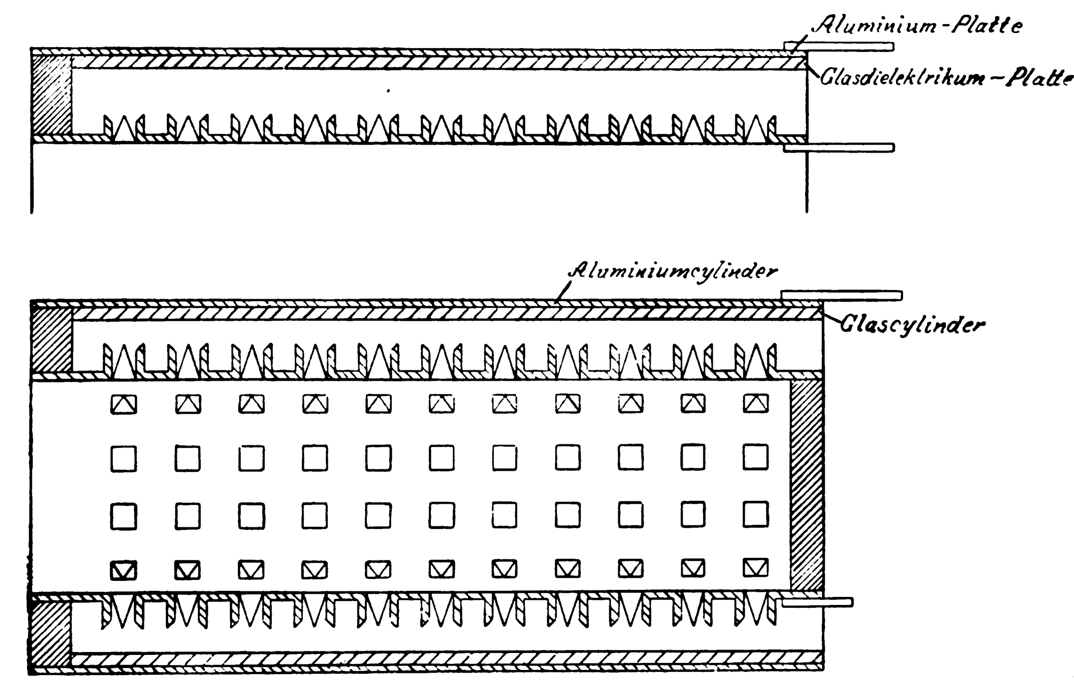


Fig. 10. — Ozoniseur Bridge.

VI. Bridge.

Ozoniseur. — Dans ces ozoniseurs, qui sont construits en forme de tubes ou de plaques, l'espace de décharge est limité par un diélectrique qui forme le pôle extérieur, et auquel le courant est amené par l'application d'une feuille d'aluminium, ainsi que par un pôle intérieur en métal. Le pôle intérieur est percé de trous dont les bords sont surélevés du côté de la face intérieure de l'espace de décharge, de maniere à former des aigrettes intenses; l'air sort par ces trous, de sorte qu'il

est obligé de traverser un grand nombre d'aigrettes de décharges efficaces. La tension de régime est d'environ 10.000 volts (fig. 10).

Appareils de stérilisation. — Ces appareils ont la forme de citernes d'environ 9 m. de profondeur et 1,8 m. de diamètre. Un tuyau de descente conduit jusqu'au fond de ces citernes, qui sont remplies de gravier. A la partie supérieure le tuyau de descente est construit dans le genre d'une trompe à eau ou d'un injecteur Körting, de sorte que l'eau, en tombant d'une hauteur d'environ 1,2 à 1,5 m., aspire l'air ozonisé venant déjà des ozoniseurs sous une faible pression. L'eau se mélange avec l'air ozonisé dans le tuyau de descente et entraîne cet air au fond de la citerne, où il est réparti davantage dans l'eau par le gravier (fig. 11).

VII. Léon Gérard.

Les ozoniseurs sont construits suivant le type du tube à ozone en verre Berthelot-Siemens et fonctionnent par conséquent avec 2 cylindres en verre portant 2 armatures en feuille d'étain pour l'arrivée du courant. Les éléments tubulaires en verre, cylindriques et verticaux, auxquels l'air arrive par le tube en verre inférieur, sont plongés dans l'huile qui sert de liquide réfrigérant, et entourés d'un cylindre en tôle de zinc de plus grand diamètre; le constructeur est d'avis que ce cylindre active la circulation, et par conséquent l'action réfrigerante du bain d'huile, ainsi que la formation de l'ozone dans l'espace de décharge, en agissant comme un condensateur électrique. Plusieurs tubes semblables (généralement 10), qui fonctionnent à une tension de régime de 10.000 à 12.000 volts, sont réunis dans une caisse pleine d'huile pour former une unité plus grande (fig. 12).

Appareil de stérilisation. — Cet appareil se compose d'une tour d'environ 8 m. de hauteur et 1,8 m. de largeur, qui est divisée par des cloisons transversales fixes en trois petites tours de même grandeur superposées, à travers lesquelles l'eau coule successivement de haut en bas, en rencontrant sur son chemin de l'ozone de concentration croissante. Le mélange de l'eau

avec l'air ozonisé dans les différentes tours est d'abord produit dans des tuyaux de descente qui sont munis d'injecteurs à leur extrémité supérieure, et qui aboutissent à l'extrémité inférieure dans un système de tubes perforés posés sur le fond de la tour, et dont l'émulsion d'eau et d'air ozonisé jaillit dans l'espace vide de la tour à la façon d'un jet d'eau. La conduite d'aspiration d'air de l'injecteur dans la tour inférieure reçoit l'ozone directement des ozoniseurs, sous une pression additionnelle fournie par une soufflerie, tandis que les conduites d'aspiration munies d'injecteurs des tours 2 et 1 aspirent et utilisent ensuite l'excès d'ozone non employé dans les tours 3 et 2 (fig. 13).

Les différents systèmes qui viennent d'être brièvement caractérisés fonctionnent en pratique dans des conditions qui varient suivant la durée de contact entre l'eau et l'ozone, durée qui est donnée par la construction de la tour; la concentration de l'ozone varie entre 1,5 et 6 (grammes d'ozone par mètre cube d'air ozonisé).



Au fur et à mesure que l'ozonisation de l'eau prit de l'extension, des raisons techniques d'ordres divers ont conduit à créer des combinaisons entre les différents systèmes décrits. C'est ainsi que la société Siemens & Halske a combiné son ozoniseur, dans plusieurs cas pratiques, avec les tours de stérilisation de Tindal-de Frise, et dans un cas isolé avec la tour à émulseur du type récent système Otto. De son côté le docteur M. Otto a employé son émulseur et le type récent de sa tour à émulseur avec les ozoniseurs à plaques d'Abraham-Marmier. Parmi ces systèmes originaux ou combinés, voici quels sont ceux qui ont été adoptés par des services municipaux pour la distribution centrale de l'eau potable, et qui sont déjà en service ou actuellement en construction :

a) le système Siemens & Halske à Wiesbaden (250 m^3 d'eau par heure) et à Paderborn (150 m^3 d'eau par heure) ;

b) le système combiné Siemens-de Frise à Hermannstadt en Hongrie (180 m^3 par heure), ensuite pour l'agrandissement de l'usine d'ozonisation de Paderborn, et choisi pour les usines d'ozonisation commandées par les villes de Paris (2.000 m^3 par heure), Florence (250 m^3) et Chemnitz (450 m^3) ;

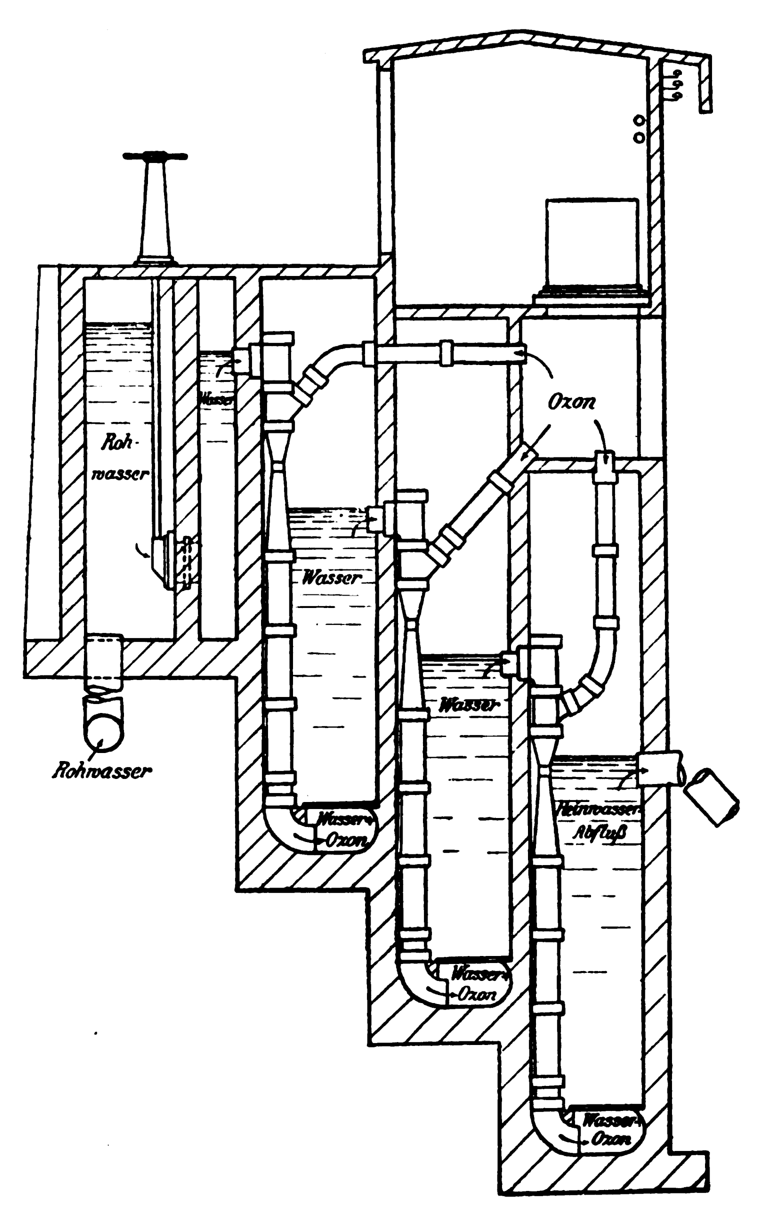


Fig. 11. — Stérilisateur Bridge.

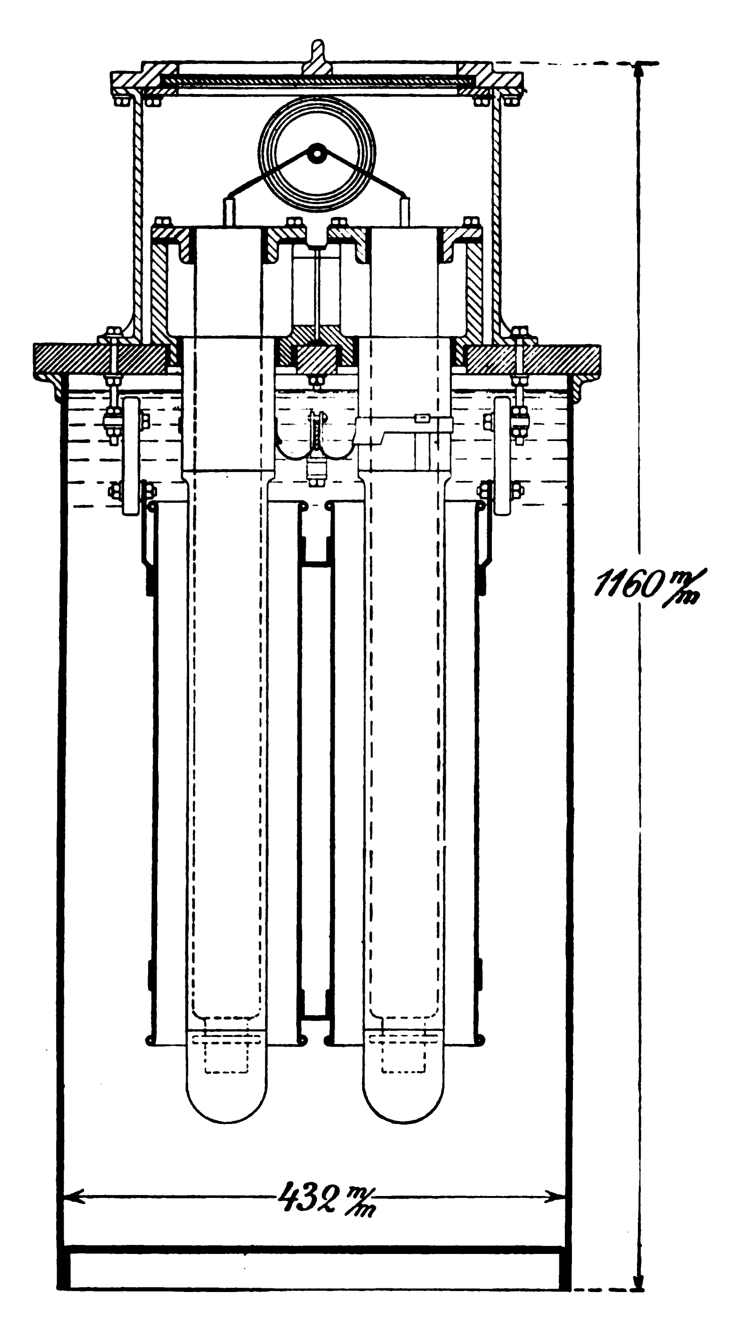


Fig. 12. — Ozoniseur Gérard.

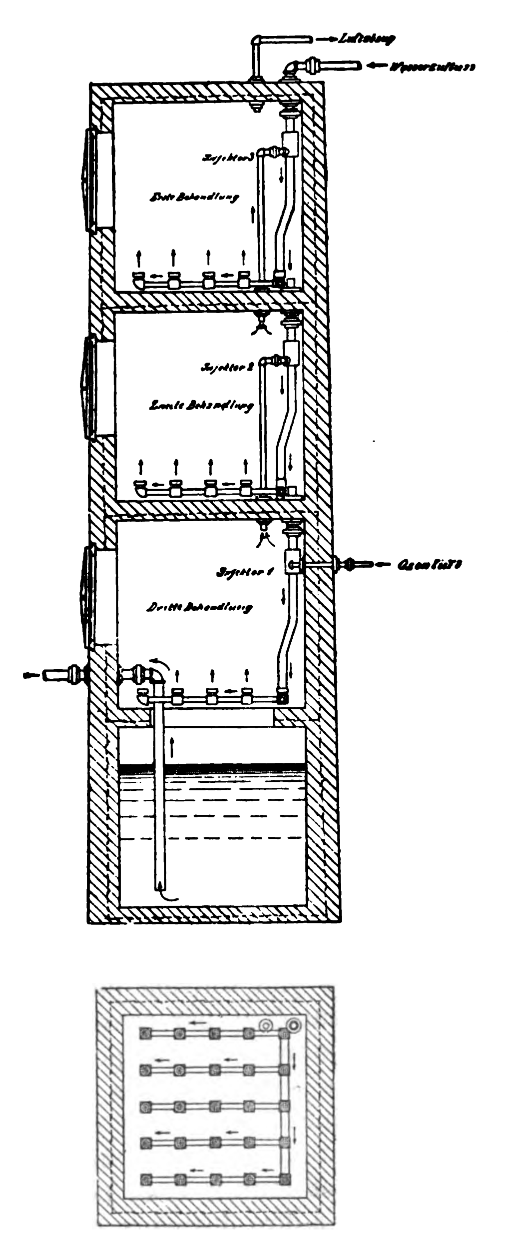


Fig. 13. — Stérilisateur Gérard.

c) le système Tindal-de Frise à Ginnecken en Hollande (100 m^3);

d) le système Abraham-Marmier à Côsne-sur-Loire (200 m^3 par heure);

e) le système Otto à Nice (Bon Voyage et Cimiez), (2.000 m^3 et 600 m^3), et à Villefranche, Monaco, Monte Carlo, Menton (1.100 m^3);

f) le système combiné Otto-Abraham-Marmier à Chartres (250 m^3) et choisi pour la deuxième grande usine d'ozonisation (2.000 m^3 par heure) construite pour la ville de Paris;

g) le système combiné Otto-Siemens pour la grande usine d'ozonisation (2.000 m^3 par heure) construite pour la ville de St.-Pétersbourg;

h) le nouveau système créé par Bridge, à la suite des expériences faites avec le système Vosmaer abandonné maintenant par la technique, à Lindsay (150 m^3 par heure) et à Ann Arbor (350 m^3) en Amérique.

Les fig. 14 à 17 représentent des vues naturelles des appareils à ozone industriels de plusieurs des usines d'ozonisation citées plus haut.

Après ce qui vient d'être dit, vous vous demanderez sans doute: Quels sont les cas dans lesquels il faut recourir à l'ozone pour l'épuration de l'eau? Quel est l'effet bactériologico-chimique de l'ozonisation de l'eau, et enfin à combien se montent les frais de l'ozonisation dans le service des usines élévatoires centrales? Voici ce qu'on peut répondre successivement à ces différentes questions:

Étant donné son caractère de procédé de stérilisation, l'ozonisation n'a pas besoin d'être appliquée aux eaux souterraines pures, qui ne contiennent le plus souvent plus ou presque plus de bactéries, et qui peuvent être par conséquent considérées comme irréprochables au point de vue hygiénique, par suite de l'épuration à laquelle elles sont soumises en traversant les couches de sables souterraines qui agissent comme d'excellents filtres. Par contre, l'ozonisation peut être appliquée toutes les fois que l'on est obligé, pour fournir l'eau potable, d'employer des eaux superficielles, c'est-à-dire des eaux de lacs, de rivières ou de barrages, parce que ces eaux contiennent toujours un nombre plus ou moins grand de microbes et sont par conséquent suspectes. L'ozonisation peut être employée aussi pour traiter les eaux de source contaminées en permanence ou accidentel-

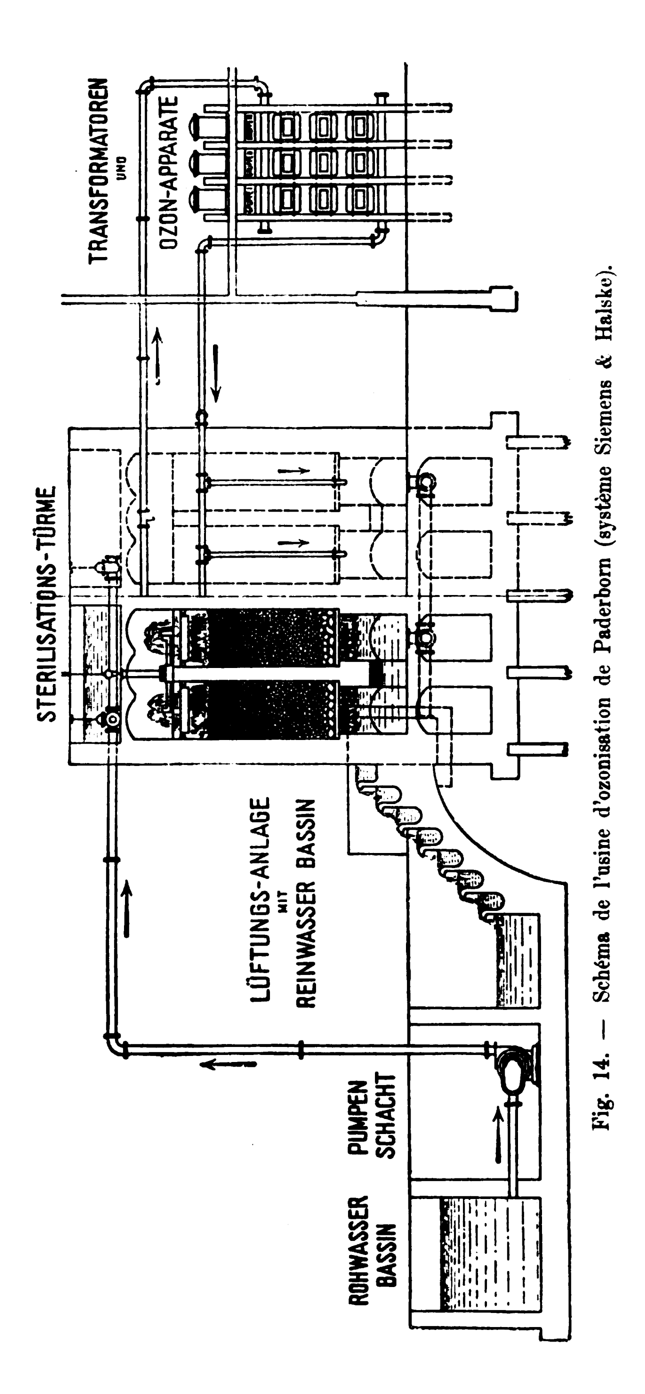


Fig. 14. — Schéma de l'usine d'ozonisation de Paderborn (système Siemens & Halske).

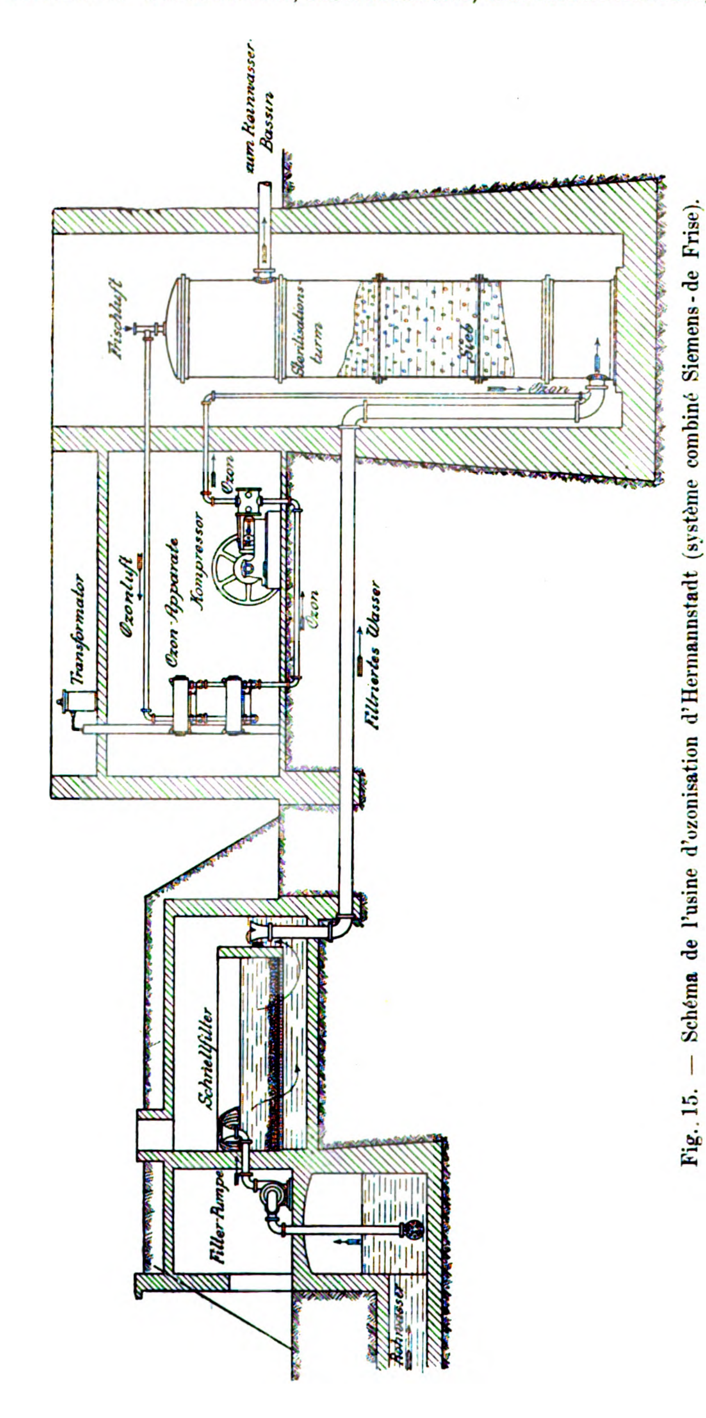


Fig. 15. — Schéma de l'usine d'ozonisation d'Hermannstadt (système combiné Siemens-de Frise).

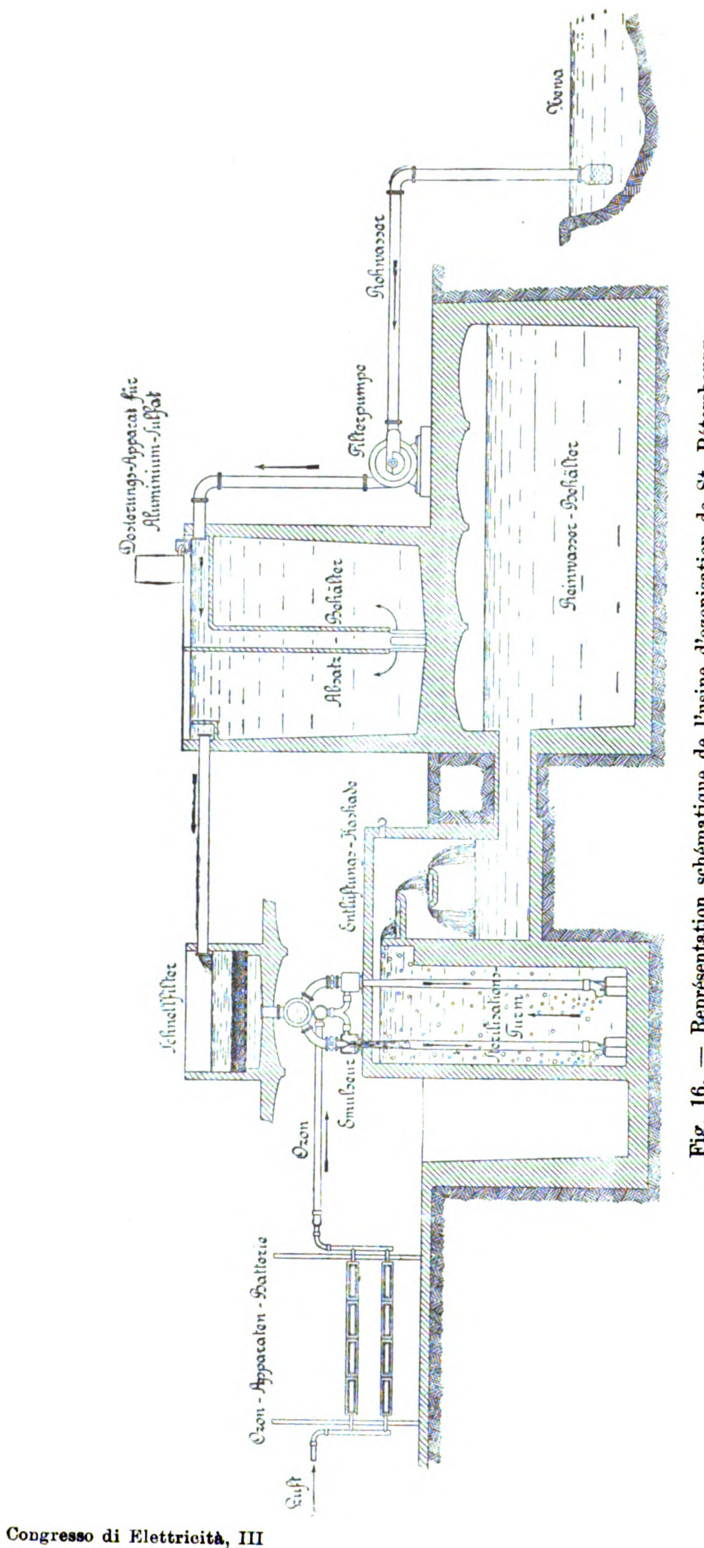


Fig. 16. — Représentation schématique de l'usine d'ozonisation de St.-Pétersbourg.

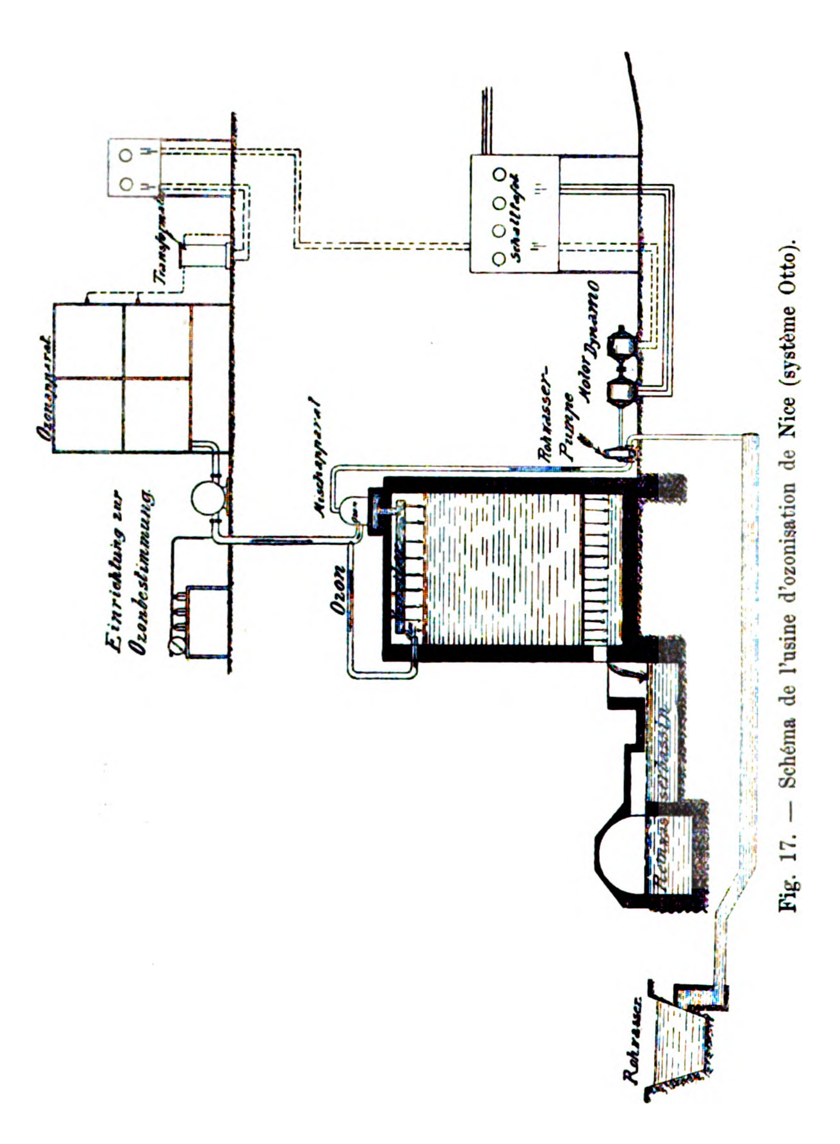


Fig. 17. — Schéma de l'usine d'ozonisation de Nice (système Otto).

lement par leur mélange avec des eaux superficielles. Lorsque l'eau à traiter contient de grandes quantités de matières en suspens, l'ozonisation doit être précédée, pour des raisons bactériologiques et esthétiques, d'une épuration préalable qui peut se faire dans ce cas au moyen de filtres dits rapides. Ces filtres rapides, qui retiennent bien les matières en suspens, mais non les bactéries, ont besoin d'une surface de sable de 60 à 70 fois moindre que les filtres lents à bactéries bien connus, et leur installation ainsi que leur service sont proportionnellement moins coûteux.

Au point de vue bactériologique, l'action de l'ozone consiste à détruire avec certitude tous les germes pathogènes de la fièvre typhoïde, du choléra et de la dyssenterie, même lorsque l'eau contient des quantités considérables de ces germes, ainsi que les différentes bactéries de l'intestin (genre coli) et à détruire aussi les bactéries ordinaires inoffensives de l'eau, à l'exception de quelques bactéries sporigènes et par conséquent très rebelles, qui sont aussi extrêmement résistantes à tous les autres agents de stérilisation connus.

Les propriétés bactéricides de l'ozone et la sûreté du procédé de stérilisation de l'eau par l'ozonisation dans les usines élévatoires, spécialement sous le rapport de la destruction des bactéries pathogènes, ont été constatées d'une façon incontestable par les travaux d'Ohlmüller, par l'Office Impérial d'Hygiène Allemand, par Ermengem, par l'Institut Pasteur de Paris, par Proskauer-Schüder de l'Institut de Berlin pour les maladies infectieuses (Institut Koch), et confirmées dans des publications officielles.

TABLEAU I.

Résultats bactériologiques.

Usine d'ozonisation d'essai de Siemens à Martinikenfelde.

Date	Nombre des bactéries avant l'ozonisation	Nombre des bactéries après l'ozonisation	Genre de bactéries	
	A) *Siemens et Halske.*			
10. XI. 01	53.500	0		Eau de la Sprée
11. XII. 01	108.370	10		ordinaire
15. XII. 01	110.147	2		et eau de conduite.
	B) *Office Impérial d'Hygiène (Ohlmüller, Prall).*			
27. III. 01	44.260	25		Eau de la Sprée
	85.400	24		ordinaire
9. V. 01	20.530	4		et eau de conduite.
	43.400	4		
27. IV. 01	9.700	6		
	25.003	10		
	C) *Office Impérial d'Hygiène (Ohlmüller, Prall).*			
		ord. path.		
	38.330	8 0	Choléra	Eau de la Sprée ord.
	16.590	9 0	Fièvre typhoïde	et eau de cond. inf. par le choléra et eau bouillie inf. par la fièvre typh.
	D) *Institut Royal p. les mal. inf. (Proskauer, Schüder).*			
12. III. 02	600.000	0	Choléra	Eau infectée
14. III. 02	600.000	0	"	par des bactéries
18. III. 02	600.000	0	Coli (1)	pathogènes.
25. III. 02	600.000	0	Fièvre typhoïde	
2. IV. 02	600.000	0	"	
27. III. 02	600.000	0	Dysenterie	

(1) Coli, non pathogène.

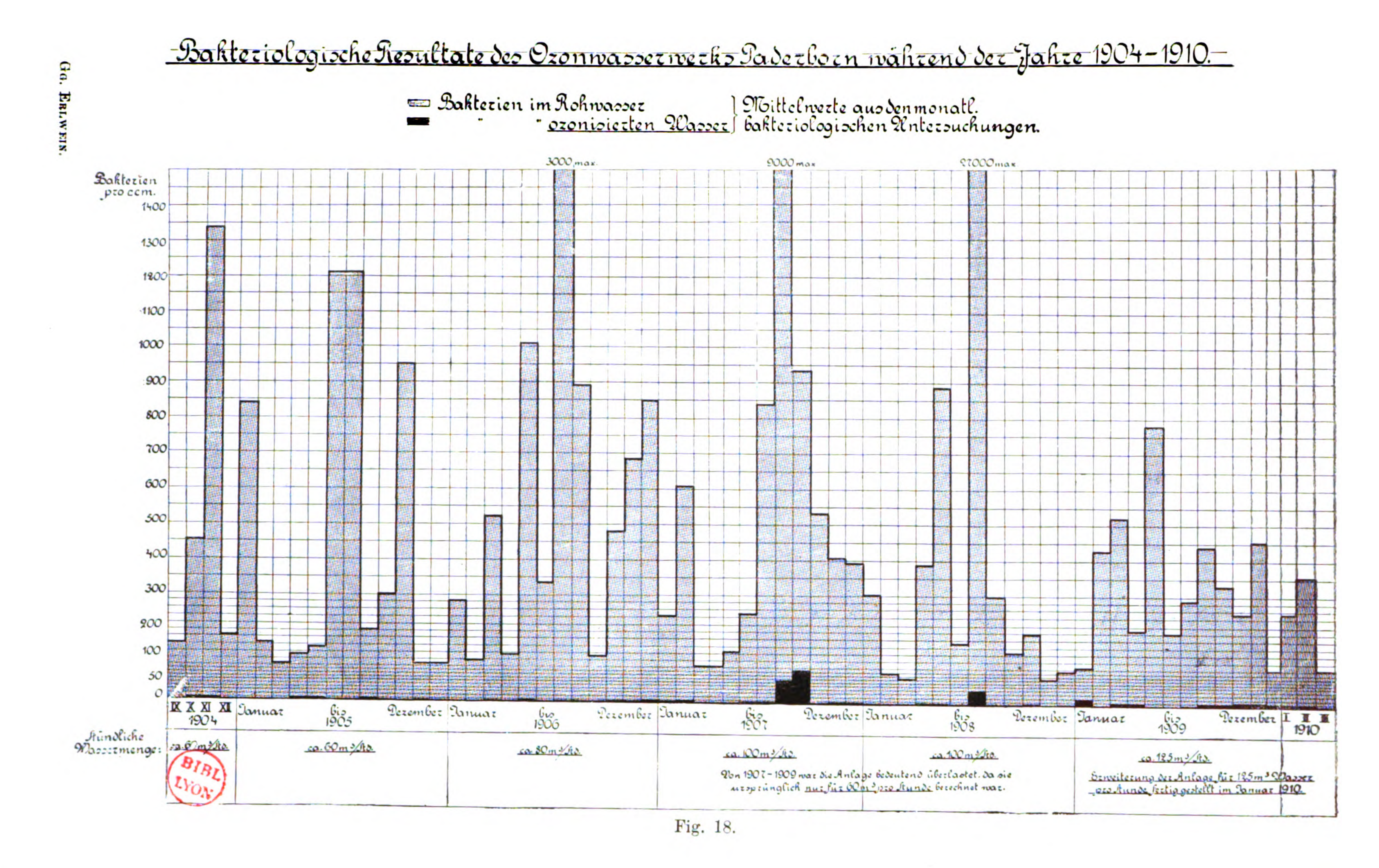

Bakteriologische Resultate des Ozonwasserwerks Paderborn während der Jahre 1904–1910.
Bakterien im Rohwasser
" " ozonisierten Wasser
Mittelwerte aus den monatl. bakteriologischen Untersuchungen.
Bakterien pro ccm.
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
50
0
3000 max.
9000 max.
27000 max.
IX X XI XII 1904
Januar
bis 1905
Dezember
Januar
bis 1906
Dezember
Januar
bis 1907
Dezember
Januar
bis 1908
Dezember
Januar
bis 1909
Dezember
I II III 1910
Stündliche Wassermenge:
ca. 60 m³/Std.
ca. 60 m³/Std.
ca. 80 m³/Std.
ca. 100 m³/Std.
ca. 100 m³/Std.
Von 1907–1909 war die Anlage bedeutend überlastet, da sie ursprünglich nur für 60 m³ pro Stunde berechnet war.
ca. 185 m³/Std.
Erweiterung der Anlage für 185 m³ Wasser pro Stunde fertiggestellt im Januar 1910.

Fig. 18.

Publications avec des tableaux complets:

A) *Trinkwasserreinigung durch Ozon* (L'épuration des eaux potables par l'ozone), Dr. Gg. ERLWEIN, "Journ. f. Gasbel „ (Journal de l'écl. par le gaz), 1901, n° 30 et 31.

B) *Behandlung des Trinkwassers mit Ozon* (Le traitement de l'eau potable par l'ozone), Geh. Rat Dr. OHLMÜLLER et PRALL, Arbeiten aus dem Kaiserl. *Gesundheitsamte* (Les travaux de l'Office Impérial d'Hygiène), vol. XVIII, fasc. 3, 1902.

C) *Ibidem.*

D) *Ueber die Abtötung pathogener Bakterien im Wasser mittels Ozon nach dem System Siemens & Halske* (Sur la destruction des bactéries pathogènes dans l'eau au moyen de l'ozone par le système Siemens & Halske), Prof. PROSKAUER et médecin major SCHÜDER, "Zeitschr. f. Hygiene u. Infektionskrankheiten „ (Revue d'Hygiène et des maladies infectieuses) par KOCH et FLÜGGE, vol. 41, 1902; voir aussi "Journ f. Gasbel. „ 1903, n° 1.

Vous pourrez vous faire une idée de l'efficacité bactéricide de l'ozonisation par les tableaux A, B, C, D, qui sont empruntés aux publications officielles des instituts d'hygiène allemands intéressés, et qui ne contiennent que des extraits des résultats obtenus par Ohlmüller et Prall avec l'appareillage à ozone Siemens dans des laboratoires et dans des services pratiques d'usines élévatoires. Il faut ajouter seulement, à titre de renseignement complémentaire, que l'Office Impérial d'Hygiène, ainsi que l'Institut Koch, n'ont pas simplement effectué leurs travaux d'analyse bactériologique de l'eau traitée en opérant sur 1 cm³, comme on le fait généralement quand on prend des échantillons dans les usines élévatoires, mais qu'ils ont fait les essais de contrôle bactériologique sur des quantités de 180 à 200 cm³ ou 20 à 22 litres, en utilisant le procédé dit d'enrichissement, ainsi que les nouvelles méthodes biologiques et chimiques de la diagnostique bactériologique (plaques de Drigalski-Conradi et réaction rouge ou au nitrosoindol). Le deuxième tableau ci-dessous est un diagramme des résultats bactériologiques officiels qui ont été obtenus dans l'usine d'ozonisation de Paderborn. Cette usine, qui emploie le système Siemens & Halske, fonctionne nuit et jour depuis des années, et elle a eu jusqu'ici pour heureuse conséquence que les épidémies de fièvre typhoïde et d'autres maladies autrefois très fréquentes et violentes, ont été enrayées depuis l'emploi de l'ozonisation et n'ont plus reparu.

L'utilité pratique de la méthode de stérilisation par l'ozone a été confirmée récemment par les résultats que la ville de Paris a obtenus dans de longs essais, après de longues expériences faites dans de grandes installations d'essai du système combiné Otto-Abraham-Marmier d'une part, et Siemens-De Frise d'autre part. A la suite de ces résultats, qui ont été publiés dans un compte-rendu officiel, le Prof. Dr. Roux, directeur de l'Institut Pasteur, qui a fait beaucoup pour l'étude scientifique et le développement du procédé de stérilisation par l'ozone, a plaidé dans un rapport au conseil municipal en faveur de l'application de l'ozonisation de l'eau dans les usines élévatoires d'eau superficielle de Saint-Maur. Après avoir pris connaissance de ce rapport, la ville décida définitivement la construction prochaine de deux usines d'ozonisation pour un débit de chacune 2.000 m^3 par heure, l'une du système Siemens-De Frise et l'autre du système Otto-Abraham-Marmier. A St.-Pétersbourg également, où le Prof. Chlobin et le Dr. Raschkowitsch examinèrent le procédé d'ozonisation relativement à la possibilité de l'utiliser pour l'eau de la Néva, les résultats bactéricides obtenus furent conformes à ceux qui viennent d'être mentionnés, de sorte que la ville résolut de construire, pour lutter contre la violence du choléra, une usine d'ozonisation du système Siemens-Otto (2.000 m^3 par heure).

Comme suite aux données bactériologiques qui précèdent, je dirai ici qu'il n'est absolument pas nécessaire de faire des cultures journalières sur plaques pour contrôler le service des usines d'ozonisation, et qu'il suffit déjà de prouver l'existence d'ozone libre dans l'eau sortant des tours de stérilisation, car l'expérience prouve que la présence d'ozone libre dans cette eau est une garantie de la sûreté de la stérilisation. Cette preuve peut être faite par la réaction colorante qui est obtenue en très peu de temps (colle d'amidon à l'iodure de potassium). Pour ne pas compromettre l'effet bactériologique total, lorsque les machines électriques ou les souffleries d'air viennent à s'arrêter, les usines d'ozonisation possèdent des appareils de sûreté appropriés, qui ferment au moment voulu la soupape d'arrivée de l'eau dans la tour et qui avertissent le personnel par des signaux acoustiques en cas de dérangement.

Effet chimique. — En plus de l'ozone, qui ne reste que très peu de temps libre dans l'eau et qui ne tarde pas à disparaître

par décomposition, l'ozonisation n'introduit dans l'eau brute que de l'air, c'est-à-dire un corps qui se rencontre par nature dans toute eau normale, en quantité donnée par les lois sur l'absorption des gaz. L'effet de cette aération, c'est que des eaux brutes pauvres en oxygène contiennent ensuite une quantité d'oxygène d'environ 10 à 20 % plus grande. Le degré d'oxydation de l'eau brute diminue par l'ozonisation jusqu'à 30 % suivant la dépense d'ozone. L'acide carbonique, les bicarbonates et les autres sels qui donnent du goût à l'eau potable, ne sont pas altérés par l'ozonisation et l'eau ne conserve non plus aucun goût d'ozone permanent. La quantité de nitrates augmente d'une façon minime à peine appréciable, par suite des traces d'oxydes nitriques qui se rencontrent dans tous les ozoniseurs, ou d'acide azotique qui se trouve dans l'eau pure; mais comme on connaît la provenance de l'azote, cette augmentation est, de l'avis d'Ohlmüller, sans importance aucune au point de vue de l'hygiène.

J'aborderai en dernier lieu la question du prix de l'ozonisation de l'eau; sur ce point il n'est pas possible de donner des indications générales, car le prix varie dans des limites très larges suivant les circonstances locales.

Ce prix dépend des facteurs suivants:

a) le prix de la force motrice;

b) le rendement des ozoniseurs en grammes d'ozone par kilowatt;

c) la dépense de force pour refouler ou aspirer l'air ozonisé dans l'eau;

d) le degré de pureté de l'eau brute, ou la dépense d'ozone par m^3;

e) le prix de la main-d'œuvre, et

f) les intérêts et l'amortissement de l'installation.

En admettant que le prix de la force motrice soit de 7 pfennigs (9 cmes) par kilowatt-heure, et qu'il faille respectivement 12, 15 ou 20 watt-heures pour produire un gramme d'ozone d'une concentration de 1, 2 ou 4, les frais de l'ozonisation d'un mètre cube d'eau varient entre 1 et 2 pfennigs (1,25 à 2,5 cmes), y compris les intérêts et l'amortissement, suivant la quantité d'ozone nécessaire et la grandeur de l'installation. 20 à 25 % environ du prix de revient par mètre cube représentent les frais de service proprement dits suivant la dépense d'ozone nécessaire, tandis qu'environ la moitié seulement de cette proportion représente le prix de l'énergie pour la production de l'ozone.

Lorsqu'il est nécessaire de combiner l'ozonisation avec une filtration rapide, à cause de la présence de matières en suspens dans l'eau, il faut encore ajouter aux frais ci-dessus 0,5 à 0,7 pfennig (0,6 à 0,9 cmes) par mètre cube, suivant la grandeur de l'installation de filtration.

La stérilisation de l'eau potable par les rayons ultra-violets.

L'emploi des rayons ultra-violets pour la stérilisation de l'eau a déjà fait depuis longtemps l'objet de recherches approfondies de la part de différents savants; il a reçu une nouvelle impulsion par l'invention de la lampe de quartz à mercure du Dr. Küch de la maison Heraeus à Hanau. Küch a réussi à remplacer par du cristal de roche fondu, c'est-à-dire par du quartz, le tube incandescent de la lampe à vapeur de mercure bien connue inventée par le Dr. Arons et construite par la Société Cooper-Hewitt. C'est seulement ainsi qu'il a été possible d'utiliser avec succès, en médecine et pour la stérilisation, l'irradiation intense ultra-violette de la vapeur de mercure fortement chauffée. Tandis que le tube incandescent en verre ordinaire des lampes à mercure ne laisse passer les rayons ultra-violets que jusqu'à une longueur d'onde de $\lambda = 0{,}300\,\mu$ ($1\,\mu = 1/1000$ de mm.), le tube de quartz de la lampe à mercure est perméable à la lumière violette jusqu'à des longueurs d'onde de $\lambda = 0{,}180\,\mu$, c'est-à-dire aussi pour les rayons ultra-violets extrêmement efficaces au point de vue chimique et physiologique compris entre les longueurs d'onde de $\lambda = 0{,}365$ jusqu'à $0{,}225\,\mu$. C'est aux deux professeurs français Nogier et Courmont que revient le mérite d'avoir utilisé l'irradiation ultra-violette intense de la lampe de quartz à mercure de Küch pour la stérilisation de l'eau potable. Ce sont eux qui ont obtenu les premiers une bonne stérilisation de grandes quantités d'eau par la lumière de la lampe de quartz à mercure, qui ont constaté la pénétration (30 cm.) de l'irradiation ultra-violette dans l'eau claire, et qui ont éclairci, par des travaux scientifiques systématiques et détaillés, toutes les questions relatives à l'irradiation ultra-violette de l'eau, ainsi qu'aux modifications éventuelles de l'eau au point de vue physiologique, chimique et bactériologique.

Quant aux lampes de quartz à mercure employées par la

science et l'industrie pour la stérilisation de l'eau, les types connus aujourd'hui dans le commerce sont ceux de la société Quarzlampen-Gesellschaft m. b. H. (Heraeus) à Hanau, et de la Westinghouse-Cooper-Hewitt C°. Ces deux types de lampes se composent d'un tube incandescent en quartz de 10 à 20 cm. de longueur (brûleur), dans lequel on a fait le vide; les deux extrémités de ce tube sont élargies en forme de cuvette ou de ballon et remplies avec du mercure dans lequel plongent des électrodes, qui sont introduites par des joints hermétiques. Lorsqu'on fait basculer le tube incandescent, le mercure coule de l'un des deux récipients dans l'autre. Quand on ramène le tube dans la position horizontale, la colonne de mercure se rompt et il se produit un arc qui persiste à cause des vapeurs de mercure chaudes et conductrices développées. Dans certains modèles de lampes, l'allumage s'obtient aussi automatiquement. Les lampes de quartz sont construites pour être branchées sur des réseaux de 110-220 volts. Elles ne doivent pas être raccordées directement à la tension du réseau, elles exigent au contraire une résistance spéciale en série pour absorber le courant de court-circuit qui se produit au moment de l'allumage, et pour assurer ensuite une lumière calme.

Dans la lampe de quartz médicale, ainsi que dans le type de lampe noyée servant à la stérilisation de l'eau, le tube de quartz est presque toujours entouré d'un deuxième tube de quartz plus gros, auquel il est soudé, pour empêcher un refroidissement trop grand par l'eau et une chute trop forte de la température des vapeurs de mercure incandescentes. Pour éviter l'absorption des rayons ultra-violets par la couche d'air intermédiaire, on fait également le vide dans l'espace qui sépare le tube incandescent du tube réfrigérant. Dans les appareils techniques pour la stérilisation de l'eau, on peut employer des lampes à mercure noyées, c'est-à-dire brûlant sous l'eau, avec tube incandescent à doubles parois entre lesquelles on a fait le vide (type de la Quarzlampen-Gesellschaft), ou des lampes brûlant au-dessus de l'eau, c'est-à-dire des lampes non refroidies et composées simplement d'un tube incandescent ordinaire (type de la Westinghouse-Cooper-Hewitt C°).

On a proposé de plusieurs côtés d'employer aussi, en plus de la lumière de la lampe à mercure, d'autres sources de lumière ultra-violette à faible longueur d'onde pour la stérilisation, par exemple la lumière des lampes à arc à électrodes métalliques

en fer, en zinc, en aluminium ou en cadmium, ainsi que les rayons émis par les tubes de Crooke ou de Geissler remplis d'hydrogène sulfureux, d'oxyde de carbone ou d'hydrogène. Les essais qui ont été faits avec ces sources lumineuses, dont les longueurs d'onde varient entre 0,21 et 0,10 μ, n'ont pas donné de résultats pratiquement utilisables jusqu'ici, à cause de la grande facilité d'absorption de l'air et de l'eau, et de la faible pénétration qui en résulte. La société Siemens & Halske a pris part également aux essais entrepris dans cette voie, en employant la lumière de fortes lampes à arc à électrodes en fer.

Comme je l'ai déjà dit, les rayons ultra-violets qui ont été reconnus jusqu'ici les plus efficaces dans la pratique de la stérilisation sont les rayons de 0,200 - 0,225 μ émis par la lampe de quartz à mercure (1).

Plusieurs savants et différentes maisons ont proposé, pour la stérilisation de l'eau, divers appareils qui ont été appliqués en partie en pratique, et dont je me bornerai à décrire brièvement ici les plus connus seulement.

1. *Appareil de Nogier à écoulement continuel.* — Au centre d'un tambour en métal allongé (fig. 19), mobile autour d'un pivot en métal (O), qui se trouve en son milieu, est disposée une lampe de quartz à mercure avec brûleur en forme de bâton de 15 cm. de longueur, dont les électrodes JJ′ sont introduites par la surface du tambour de la façon indiquée sur la figure. Une cloison à bords inclinés DD′ sépare l'intérieur du tambour en deux compartiments de grandeur différente A et B, qui sont irradiés par la lampe. Le premier compartiment A sert à la stérilisation préalable, tandis que le traitement ultérieur a lieu dans le compartiment B. Pour allumer la lampe, on incline le tambour en tirant une chaînette fixée au robinet d'écoulement.

(1) Relativement aux longueurs d'onde, je dirai brièvement ceci: Tandis que la partie visible du spectre solaire jusqu'à l'extrême-violet a des longueurs d'onde de 0,761-0,397 μ, et l'ultra-violet du spectre solaire des longueurs d'onde jusqu'à 0,295 μ, la partie ultra-violette du spectre de la lumière produite par la vapeur de mercure a des rayons de $\lambda = 0,365$ jusqu'à 0,225 μ; l'ultra-violet de certains spectres de métaux (zinc, aluminium, fer, cadmium) a des rayons jusqu'à 0,120 μ, et l'extrême ultra-violet des spectres de certains gaz, comme ceux des tubes de Crooke et de Geissler remplis de sulfure de carbone, d'oxyde de carbone ou d'hydrogène, a des rayons jusqu'à 0,103 μ.



En même temps l'eau arrive automatiquement dans le vase de stérilisation, en coulant dans le sens des flèches indiquées. La soupape d'arrêt de l'écoulement de l'eau est soulevée automatiquement par un électro-aimant, qui n'agit que lorsque le courant de travail traverse la lampe. Cette soupape est fermée par un

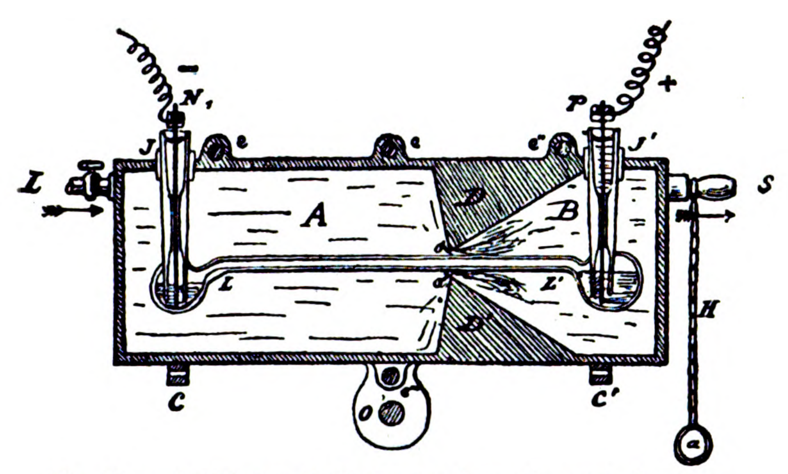


Fig. 19. — Stérilisateur de Nogier avec lampe de quartz à mercure.

ressort quand le stérilisateur est au repos. Grâce à cette disposition l'arrivée de l'eau brute est coupée lorsqu'on interrompt volontairement le courant, ou lorsque la lampe vient à s'éteindre d'elle-même, de manière qu'aucune eau non stérilisée ne peut sortir de l'appareil. D'après les indications données par Courmont et Nogier à la suite de leurs essais de moindre importance, il faut, pour la stérilisation de (115×60) litres $= 6{,}9$ mètres cubes d'eau fortement contaminée (9×135) watt-heures, c'est-à-dire $1.215 : 6{,}9 = 180$ watt-heures par mètre cube d'eau. Pour les grandes installations municipales, dans lesquelles il s'agit d'eau brute plus pure, Nogier obtient encore des chiffres moins élevés pour la dépense d'énergie.

2. *Appareil de stérilisation de la société Quarzlampen-Gesellschaft m. b. H. à Hanau.* — Cet appareil se compose d'un vase en verre qui est continuellement traversé par de l'eau; dans ce vase se trouve une lampe de quartz à mercure (fig. 20) qui brûle sous l'eau, et dont le tube incandescent *b* est entouré par la chemise de protection en quartz *c*; le vide est fait dans l'espace

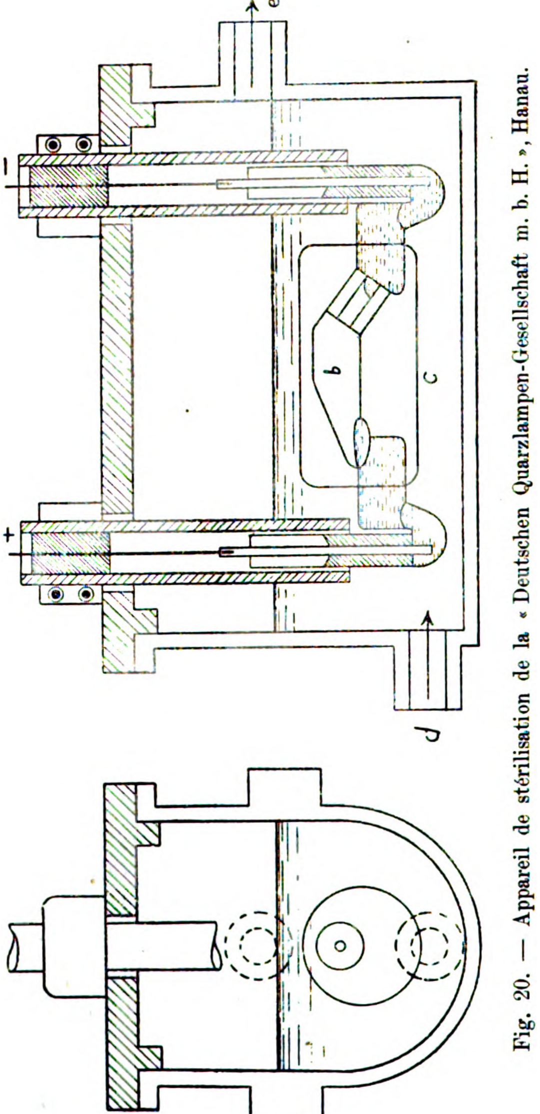


Fig. 20. — Appareil de stérilisation de la « Deutschen Quarzlampen-Gesellschaft m. b. H. », Hanau.

intermédiaire pour maintenir une haute température de rayonnement. Ces lampes (du type noyé) se font en deux modèles: un pour 110 volts et une longueur d'arc de 6 cm., et l'autre pour 200 volts et une longueur d'arc d'environ 13 cm. La fig. 18 montre le brûleur suspendu dans le vase. + et — sont les connexions du brûleur, connexions qui se composent de conducteurs sous une forte couche de caoutchouc; *b* est le tube incandescent, dans lequel l'arc se produit entre mercure et mercure; *c* est la chemise de quartz qui entoure le tube; *dd* sont les baguettes de joint meulées en acier au nickel qui relient les connexions extérieures au mercure du tube incandescent. Ce dernier est suspendu au couvercle du vase, à l'intérieur d'un autre tube. Le liquide entre par le bas, à gauche, par la conduite *d*, et sort en haut et à droite en *e* après l'irradiation; un tuyau souple est raccordé en *c* et en *e*. On allume le tube incandescent, soit en soulevant un pôle, soit en disposant tout le vase avec le tube incandescent de manière qu'il puisse tourner sur un pivot, et en l'inclinant de sorte que le mercure du tube coule d'un pôle à l'autre. Lorsque le tube est ramené dans la position horizontale après l'écoulement du mercure, la colonne de mercure se rompt et forme de la façon connue l'arc qui persiste par suite de la formation de vapeurs de mercure. Les lampes de cette société employées dans les stérilisateurs ne sont que des modifications des anciennes lampes de la maison Heraeus à Hanau, la créatrice des lampes de quartz.

3. *Appareil de Mr. Billon-Daguerre.* — L'appareil de l'ancien type se compose (fig. 21) d'une lampe de quartz à mercure avec tube de quartz vertical A, qui est entouré par une chemise de protection B en quartz; celle-ci est protégée elle-même par une chemise en laiton C qui forme la paroi du vase du stérilisateur. Le liquide à stériliser entre dans l'appareil en D; il coule dans l'espace circulaire entre la chemise extérieure en quartz et la chemise en laiton, en formant une couche extrêmement mince, ce qui augmente l'action stérilisante de la lumière de mercure ultra-violette. Le nouvel appareil perfectionné représenté par la fig. 22 est plongé complètement dans le liquide à stériliser; il se compose du tube de quartz cylindrique A auquel est soudée une chemise en quartz B qui l'entoure complètement, et le vide est fait entre les deux; cette chemise a pour but de diminuer le rayonnement de la chaleur et d'isoler le tube du liquide à

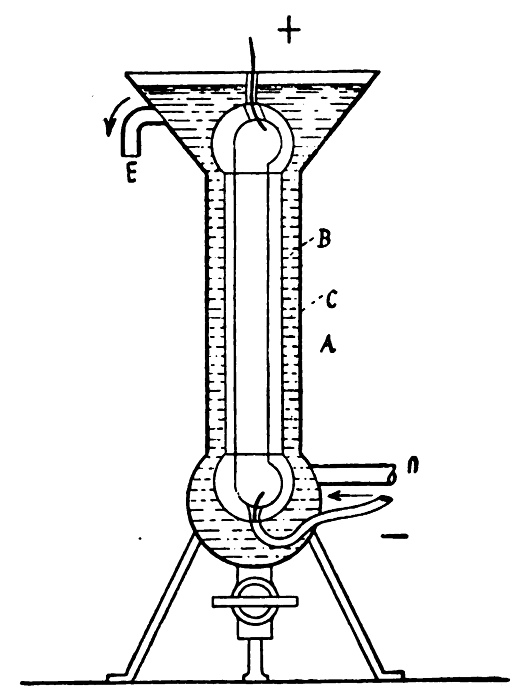


Fig. 21. — Appareil de stérilisation de Billon-Daguerre (ancien type).

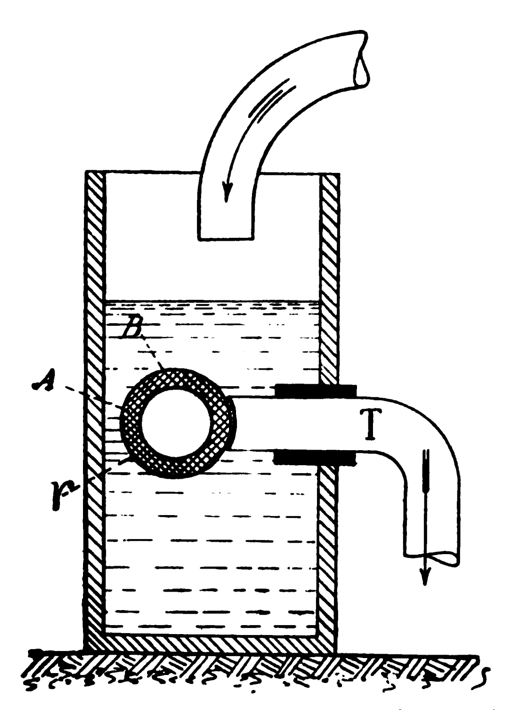


Fig. 22. — Appareil de Billon-Daguerre (nouveau type).

stériliser. Pour amener autant que possible tout le liquide en contact direct avec la lampe, et pour que la stérilisation soit aussi efficace que possible, l'eau s'écoule par des tubes en argent coudés, dont les extrémités épousent parfaitement la courbure de la chemise de quartz extérieure, de manière à forcer le liquide à passer en couche très mince entre la lampe et les tubes d'écoulement. En employant un plus grand nombre de tubes en argent, on peut augmenter la puissance de l'appareil en proportion. D'après les indications du constructeur, la lampe montée dans une caisse en verre relativement petite peut stériliser par heure 10 m^3 d'eau entièrement claire, avec une dépense de force de $(2 \times 110) = 220$ volt-amp., ce qui correspond à une consommation d'énergie de 22 watt-heures par mètre cube.

En remplaçant les lampes à mercure des appareils de stérilisation qui viennent d'être caractérisés par des tubes de Crooke ou de Geissler en verre quartzeux, remplis d'oxyde de carbone et de sulfure d'hydrogène ou d'hydrogène pur, tubes dont les rayons ont des longueurs d'onde plus faibles et sont chimiquement 2,5 fois plus intenses que ceux des lampes à mercure, Billon-Daguerre prétend obtenir des effets de stérilisation plus rapides avec une dépense d'énergie plus faible. Jusqu'ici il n'a pas été possible de confirmer par des essais l'exactitude de cette affirmation, qui est basée sur l'hypothèse inexacte que le quartz est perméable à d'aussi faibles longueurs d'ondes.

4. *Appareil de stérilisation de la Westinghouse-Cooper-Hewitt C.* — Ce stérilisateur est une application du type de lampe à mercure avec gaîne de quartz de la Silica-Gesellschaft; contrairement aux lampes connues employées pour l'éclairage, le tube incandescent de cette lampe est en quartz, au lieu d'être en verre ordinaire. Dans l'appareil, la lampe n'est pas plongée dans l'eau; comme le montre la fig. 23, elle est placée au-dessus de l'eau, mais à une très faible distance de la surface de l'eau; c'est pourquoi elle n'a pas de chemise de protection en quartz. A l'intérieur de l'appareil cylindrique émaillé se trouvent des garnitures en forme d'entonnoirs engagées l'une dans l'autre et servant de cloisons de séparation; ces garnitures forcent l'eau brute entrant en E (fig. 23) à traverser le stérilisateur dans le sens indiqué par la flèche, et à passer à plusieurs reprises dans le champ d'irradiation le plus intense de la lampe, à une très faible distance de cette dernière. On allume la lampe en la

faisant basculer au moyen d'une petite chaîne fixée sur le côté de l'appareil. Dans la fig. 23, A est le réservoir d'eau cylindrique émaillé, B est la cloison de séparation conique extérieure, C la cloison intérieure, D le tube d'écoulement central pour l'eau traitée, et E le robinet d'entrée de l'eau brute. L'appareil

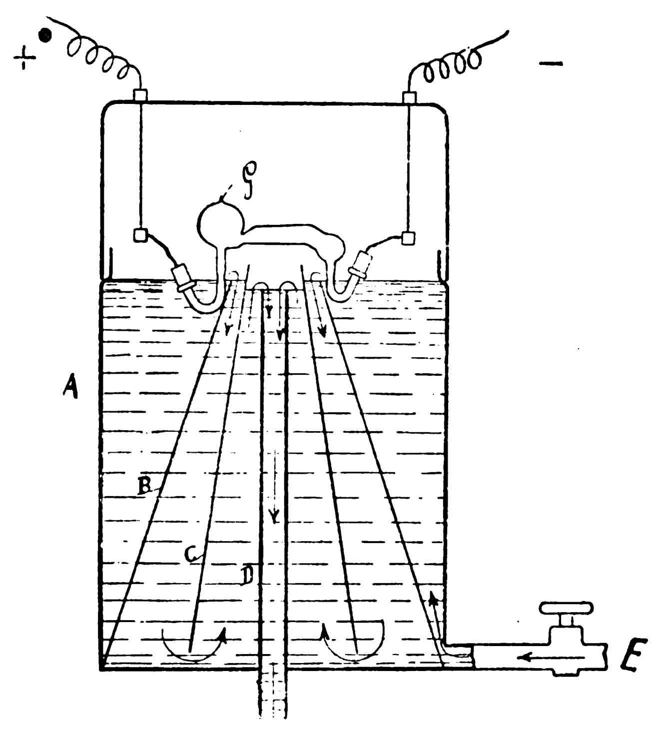


Fig. 23. — Appareil de stérilisation de la Westinghouse Cooper-Hewitt Co. Ltd.

est construit pour un débit de 600 à 1200 litres par heure. La lampe ne fonctionne qu'avec du courant continu, comme toutes les lampes à mercure; dans cet appareil, et au débit de 600 litres par heure, elle absorbe environ 3,5 amp. sous 110 volts, ce qui représente par litre une dépense d'énergie électrique de

$$3{,}5 \times 110 : 600 = 0{,}6 \text{ watt-heure}$$

soit 600 watt-heures par mètre cube.

V. Henri, A. Heilbronner et von Recklingshausen ont fait à la Sorbonne, avec un appareil d'essai construit pour de grandes

quantités d'eau se rapprochant des conditions pratiques des usines élévatoires (125 m^3 par heure), des essais au cours desquels ils ont trouvé, avec 4 lampes Westinghouse (de 200 volts et 3 ampères) et un appareillage approprié aux quantités d'eau, une dépense d'énergie de 36 watt-heures seulement par mètre cube d'eau brute fortement infectée.

Dans un essai plus grand qui a été fait à Marseille, et qui a duré plusieurs mois, la stérilisation avec la lampe Westinghouse a exigé 40 watt-heures par mètre cube d'eau [1], mais on s'est servi d'eau épurée et préalablement bien clarifiée par le système de filtration échelonnée Puech-Chabal. L'appareil employé pour cet essai était un appareil spécial (voir la fig. 24) muni de cloisons transversales en forme d'éventail. L'eau était obligée de circuler à plusieurs reprises à l'intérieur de cet appareil dans le champ d'irradiation d'une lampe de quartz à mercure, qui était montée à la partie supérieure de l'appareil dans une caisse munie de parois ou de fenêtres en quartz.

5. *Appareil de stérilisation de la société Siemens & Halske.* — La construction du stérilisateur est indiquée par les fig. 25 et 26. La lampe de quartz à mercure se trouve dans l'axe d'un vase cylindrique à l'intérieur duquel l'eau entre tangentiellement, pour tourner plusieurs fois dans le stérilisateur, c'est-à-dire dans tout le champ d'irradiation de la lampe, puis repasser finalement encore une fois très près du tube incandescent. Pour obtenir ce résultat, le tube d'écoulement, qui est introduit radialement, se termine au-dessus et très près du tube lumineux. Pour les petits branchements dans les maisons ce stérilisateur, dont le débit est de 1 à 1 1/2 m^3 d'eau par heure, a été construit suivant le modèle représenté par les fig. 23 et 24. Sa disposition est caractérisée par une seule manipulation: on allume la lampe en la faisant basculer, et on ouvre en même temps le robinet d'arrivée de l'eau. Il existe en outre un appareil électro-magnétique qui empêche l'eau d'entrer dans le stérilisateur tant que la lampe n'est pas allumée. Si la lampe vient à s'éteindre d'elle-même,

(1) En employant la méthode d'ozonisation qui a été essayée à Marseille avec la même eau, dans un essai parallèle du même ordre de grandeur, 7 watt-heures par mètre cube ont suffi pour obtenir le même degré de stérilisation.

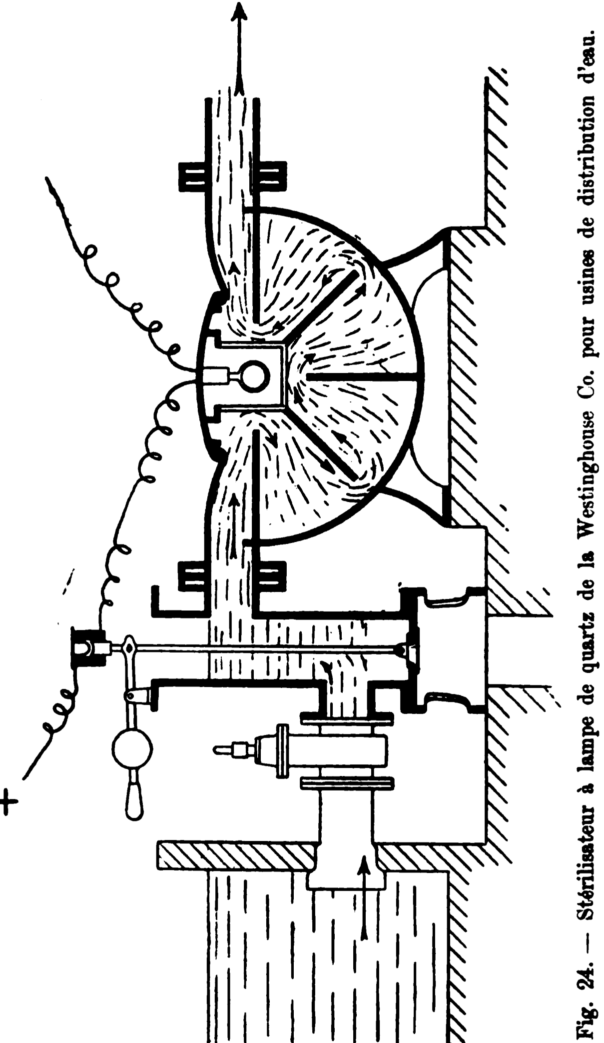


Fig. 24. — Stérilisateur à lampe de quartz de la Westinghouse Co. pour usines de distribution d'eau.

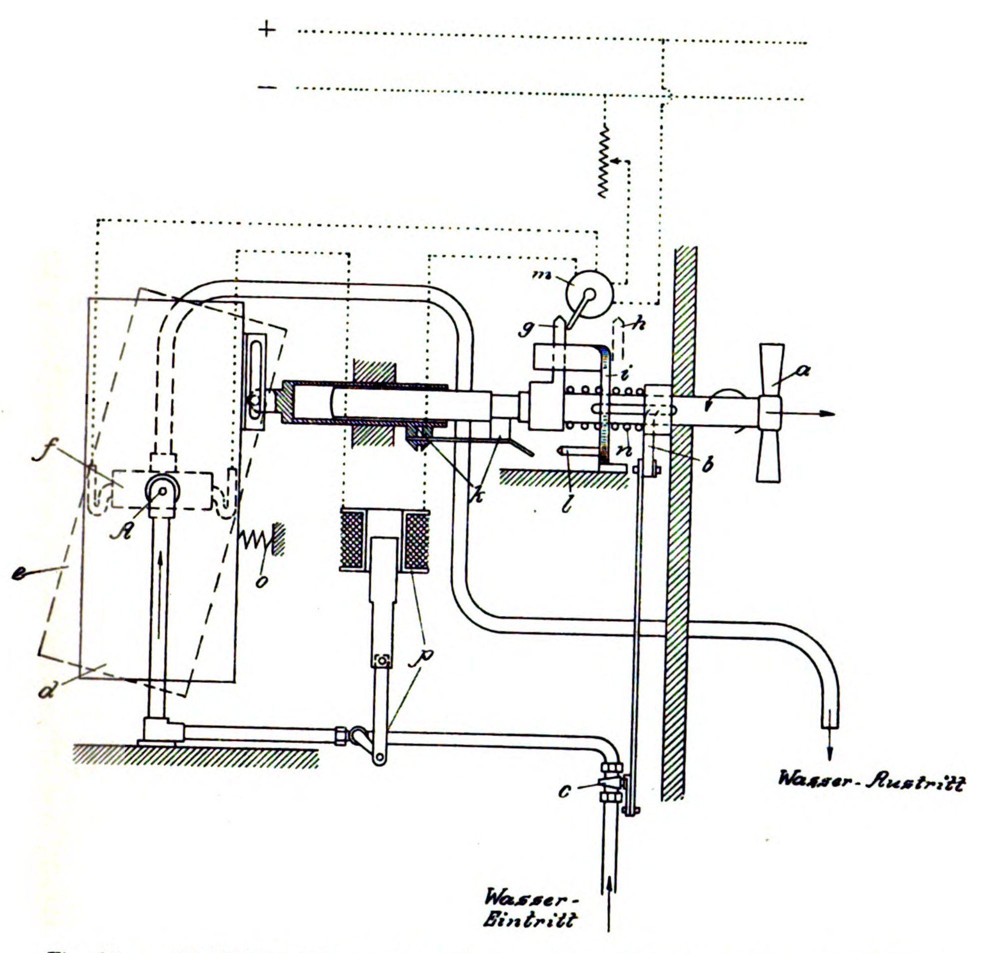


Fig. 25. — Stérilisateur à lampe de quartz pour usages domestiques (Siemens & Halske).

a) Poignée pour l'allumage et le réglage,
d) Stérilisateur au repos,
e) » basculé,
f) Lampe,
p) Dispositif de sûreté.

le robinet d'arrivée de l'eau se ferme automatiquement, de sorte qu'il est impossible que de l'eau non stérilisée sorte de l'appareil.

Quant à l'action physique, chimique et bactériologique de l'irradiation ultra-violette de l'eau, voici ce qui a été constaté par Courmont et Nogier et confirmé par plusieurs autres savants. L'eau irradiée n'a pas d'action physiologique nuisible. Pendant la durée pratique de l'irradiation, la température de l'eau n'augmente que de quelques dixièmes de degré centigrade. L'irradiation ne modifie en aucune façon les sels ni le degré d'oxydation de l'eau. L'effet bactériologique est un effet primaire, c'est-à-dire purement actinique; il n'est donc pas obtenu d'une façon secondaire par de l'ozone ou du peroxyde d'hydrogène produit dans l'eau par l'irradiation. Il faut que l'eau soit claire et transparente; lorsque l'eau est trouble et colorée, ou qu'elle contient des substances colloïdales ou huminoïdes, elle agit à la façon d'un écran et empêche ou diminue l'action bactéricide. Au point de vue bactériologique, les rayons de la lampe de quartz à mercure tuent dans de l'eau claire, sur un rayon de 30 cm. et après une action de quelques minutes, les bactéries de toute sorte, aussi bien les bactéries inoffensives non sporigènes que les bactéries sporigènes résistantes, ainsi que les genres coli et toutes les bactéries pathogènes de la fièvre typhoïde et du choléra, même lorsque le nombre de germes est de plusieurs centaines de mille jusqu'à un million par mètre cube. Les bactéries du bacillus mesentericus ruber, qui sont extrêmement vivaces et qui résistent à une ébullition de plusieurs heures, sont mêmes détruites en très peu de temps.

Messieurs, j'arrive à la fin de ma conférence. Vous me demanderez peut-être maintenant une comparaison au point de vue technique et économique entre les procédés de stérilisation de l'eau potable par l'ozone et par l'irradiation ultra-violette; il m'est toutefois jusqu'à un certain point difficile de vous répondre, parce que l'on possède déjà pour le procédé par l'ozone d'importants résultats d'expérience obtenus dans les usines d'ozonisation qui traitent de l'eau brute de qualités très diverses depuis des années, tandis que le procédé par l'irradiation ultraviolette n'en est encore qu'à ses débuts, et qu'il faut encore déterminer pratiquement les limites de son application dans les installations de distribution centrale d'eau potable, ainsi que son économie et la sûreté de son fonctionnement dans les

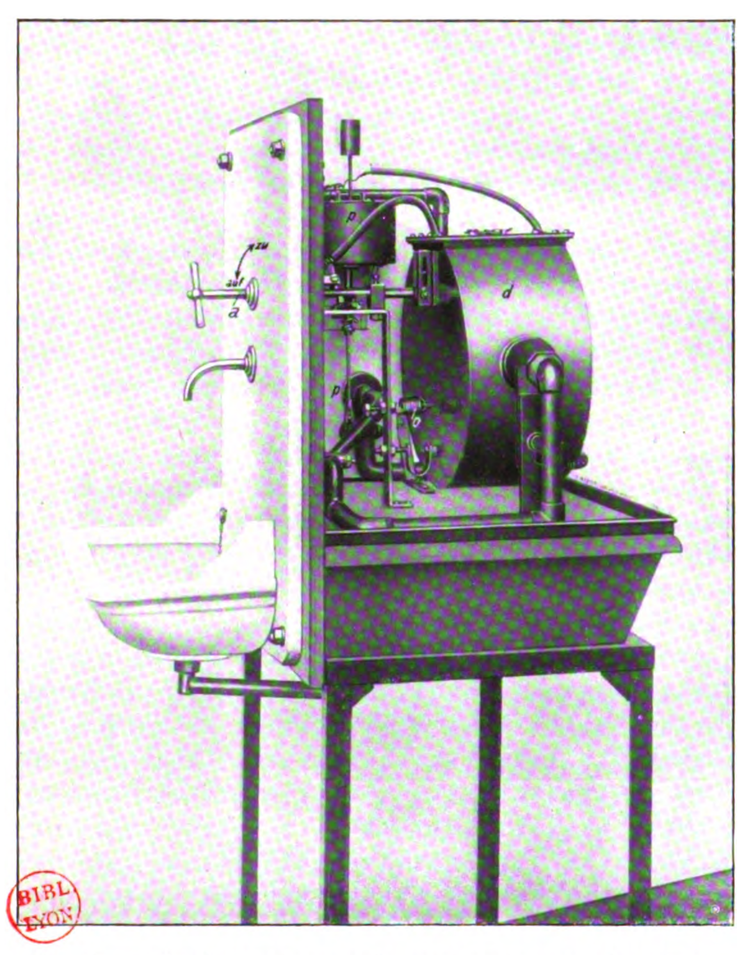


Fig. 26. — Stérilisateur à lampe de quartz pour usages domestiques (Siemens & Halske).

grands établissements. Ce qui est certain, d'après les résultats obtenus jusqu'ici, c'est que l'irradiation ultra-violette ne produit un effet de stérilisation assuré, dans des limites économiques sous le rapport de la dépense d'énergie, que lorsqu'on dispose d'eau brute parfaitement claire, en même temps que soigneusement décolorée et débarrassée de toutes les substances huminoïdes ou colloïdales. Au contraire, le procédé par l'ozone est, dans des limites assez larges, indépendant de la contamination de l'eau brute. Lorsqu'il s'agit d'eaux superficielles, il n'exige qu'une épuration préalable et grossière, par un procédé de filtration rapide, et par conséquent peu coûteux. Enfin il fonctionne encore d'une façon suffisante au point de vue bactériologique, en dépensant il est vrai un peu plus d'ozone, lorsque l'eau est faiblement opalescente ou colorée, ou lorsqu'elle contient des substances colloïdales, tandis que le procédé par l'irradiation est totalement ou partiellement inapplicable en pratique, à cause de l'effet d'écran de ces substances. Si l'on essaie de comparer les deux procédés de stérilisation sous le rapport de leur dépense d'énergie par mètre cube d'eau traité, il ne faut naturellement baser une pareille comparaison que sur de l'eau préalablement épurée au même degré dans les deux cas.

Lorsque l'eau est extrêmement bien filtrée, comme cela est nécessaire pour le traitement par la méthode ultra-violette, le traitement d'une pareille eau de bonne qualité nécessitera aussi moins d'ozone, c'est-à-dire moins de watt-heures par mètre cube. D'après les résultats publiés, la dépense en watt-heures par mètre cube d'eau traitée par la méthode ultra-violette, pour la stérilisation d'eau de qualités différentes, varie entre 40 et 400 watt-heures par mètre cube d'eau. Il résulte également de nouveaux essais faits dans le laboratoire Siemens sur de l'eau de la Sprée bien filtrée, et sur des mélanges d'eau de conduite claire avec de l'eau de la Sprée filtrée, qu'il faudra de 100 à 200 watt-heures par mètre cube, pour une stérilisation pratique au moyen de la lumière de la lampe de quartz à mercure. En comparant cette méthode avec celle de l'ozonisation, on obtient donc les résultats suivants:

Dans les nouveaux ozoniseurs techniques, on peut produire un gramme d'ozone d'une concentration suffisante pour assurer la stérilisation, avec une dépense d'énergie d'environ 15 watts. La dépense de force nécessaire pour les opérations purement mécaniques (telles que la dessiccation de l'air et le mélange de

l'air avec l'eau), dépense qui varie suivant la quantité d'air employée par mètre cube d'eau, et suivant la hauteur de la concentration de l'ozone, est par exemple d'environ 30 watt-heures par mètre cube pour une concentration de 2 et une dépense d'ozone de 2 grammes, c'est-à-dire pour un rapport de 1:1 entre l'air refoulé et l'eau. La quantité de watt-heures dépensée avec la concentration de 2, qui est presque toujours employée, est donc la suivante, pour différents degrés de pureté de l'eau correspondant à l'emploi de $^1/_3$, $^1/_2$, 1 ou 2 grammes d'ozone par mètre cube d'eau.

a) pour la production de l'ozone:

$^1/_3 \times 15 = 5{,}0$
$^1/_2 \times 15 = 7{,}5$
$1 \times 15 = 15{,}0$
$2 \times 15 = 30{,}0$ watt-heures;

b) pour le travail mécanique additionnel, qui diminue proportionnellement à la quantité d'air ou d'ozone refoulée:

$^1/_6 \times 30 = 5{,}0$
$^1/_4 \times 30 = 7{,}5$
$^1/_2 \times 30 = 15{,}0$
$1 \times 30 = 30{,}0$ watt-heures;

soit en tout respectivement:

10, 15, 30 et 60 watt-heures.

Si la concentration employée est de 4 au lieu de 2, cas qui peut se présenter dans les très grandes installations, pour des raisons d'ordre technique, la dépense d'énergie par gramme d'ozone ne passe que de 15 à environ 20 watts, c'est-à-dire qu'elle n'augmente que d'environ $^1/_3$, tandis que la dépense en watts pour le travail additionnel diminue de moitié.

Pour une concentration de 4, chiffre qui peut déjà être considéré comme assez élevé, le calcul précédemment établi pour la concentration 2 est modifié de la façon suivante:

a) $^1/_3 \times 20 = 6{,}7$
$^1/_2 \times 20 = 10{,}0$
$1 \times 20 = 20{,}0$ et
$2 \times 20 = 40{,}0$ watt-heures.

b) $^1/_{12} \times 30 = 2{,}5$
$^1/_8 \times 30 = 3{,}7$
$^1/_4 \times 30 = 7{,}5$ et
$^1/_2 \times 30 = 15{,}0$ watt-heures,

soit en tout a et b =

respectivement 9,2; 13,7; 27,5 et 55 watt-heures.

Ces chiffres montrent que pour le moment la dépense d'énergie par mètre cube est généralement plus faible avec la méthode par l'ozonisation qu'avec la méthode par irradiation, en admettant que l'eau soit épurée au même degré.

Il faut encore tenir compte des considérations suivantes qui militent en faveur de l'ozone dans les distributions centrales d'eau:

1) Il existe déjà, pour la méthode par l'ozonisation, un outillage sûr, d'un fonctionnement certain, capable de remplir les conditions exigées par les grandes usines élévatoires centrales;

2) Comme l'ozonisation utilise la circulation de l'air ozonisé, on peut toujours travailler avec un grand excès d'ozone sans dépense de force supplémentaire, c'est-à-dire assurer toujours la stérilisation, même quand la qualité de l'eau brute varie;

3) L'ozonisation fournit donc encore de bon résultats, même lorsque l'eau brute est légèrement jaunâtre (coloration qui disparaît presque toujours par l'ozonisation) ou légèrement opalescente, par conséquent aussi lorsque la méthode ultra-violette cesse d'être économique et sûre ou devient même totalement inapplicable;

4) On peut toujours constater en quelques minutes, dans l'eau ozonisée sortant de la tour de stérilisation, un excès d'ozone dissous — lors même que cet excès ne serait que passager en pratique — par l'apparition de la coloration en bleu, lorsqu'on ajoute à cette eau une solution de colle d'amidon à l'iodure de potassium, ce qui permet de déterminer immédiatement, sans essais à la gélatine qui durent des journées, la marche régulière du service et la présence de l'effet bactériologique cherché.

La possibilité d'employer le procédé ultra-violet dans la stérilisation centrale de l'eau n'est donc pas encore clairement établie relativement à l'économie et à la sûreté du fonctionnement. Les conditions sont différentes dans les petites installations domestiques, où il s'agit presque toujours d'une eau très claire, et où les frais de service ne jouent pas le même rôle que dans les installations centrales.

Dans de pareilles installations isolées, la lampe de quartz à

mercure a sur l'ozonisation l'avantage de la simplicité sous le rapport de l'appareillage et du service, en admettant que la sûreté de fonctionnement soit la même. Aussi suis-je d'avis que c'est ici, c'est-à-dire dans les petites installations, que la méthode par l'irradiation ultra-violette devra chercher d'abord à se répandre.

Je terminerai cette conférence en exprimant le désir que les procédés dont je viens de parler, procédés qui utilisent la collaboration moderne de l'électricité, réussissent, avec le concours efficace de la science et de la pratique, à dépasser encore les progrès qu'ils ont déjà faits jusqu'ici, afin qu'ils puissent être appliqués de plus en plus dans l'épuration des eaux en général, et en particulier dans la technique de la stérilisation des eaux potables, dans les installations centrales de distribution d'eau, aussi bien que dans les installations décentralisées.

La sterilizzazione dell'acqua nell'acquedotto di Rovigo

Ing. LUIGI DE ANDREIS (Milano).

La sterilizzazione delle acque potabili mediante l'elettricità, benchè abbia una letteratura assai copiosa, non ha avuto però mai, nei Congressi di Elettrotecnica, un grande svolgimento.

Solo nel Congresso Internazionale di St.-Louis, nel 1904, fu presentata una Memoria del Prof. John W. Langley: *Sulla purificazione elettrica dell'acqua potabile*, nella quale però l'unico metodo esposto (applicato a Cleveland O. alle acque del Lago Erié) era piuttosto un processo di purificazione chimica; poichè si trattava dell'elettrolisi dell'acqua mediante elettrodi di alluminio, generando così dell'ossido idrato di alluminio, che, come è noto, precipita le materie coloranti e la maggior parte delle materie organiche, trascinando nella precipitazione tutte le materie solide, compresi i batteri e le muffe (1).

Nel Congresso Internazionale delle Applicazioni Elettriche, tenuto a Marsiglia nel 1908, il sig. Henri Abraham presentò una Memoria sul soggetto, veramente esauriente, in cui si esponevano e si illustravano largamente i principali processi di depurazione dell'acqua mediante l'ozono, sia dal punto di vista della completa distruzione dei germi contenuti nelle acque impure (anche inquinate artificialmente), sia anche dal punto di vista economico industriale. Ma tale Memoria non diede però luogo

(1) ***Trans. of the Intern. Electrical Congress.*** **St. Louis, 1904, Section H, Vol. III, pag. 746.**

a discussione, e nessuno portò qualche altra contribuzione all'illustrazione dell'interessante argomento [1].

Nel presente Congresso la comunicazione annunciata sull'argomento del Dr. Gg. Erlwein: *La sterilizzazione dell'acqua coi processi che impiegano l'elettricità*, sarà certamente interessantissima ed esauriente, specie se esporrà i numerosi esempi di depurazione con carattere industriale, e se darà luogo a qualche discussione rispetto ai caratteri particolari dei diversi metodi di sterilizzazione delle acque potabili.

Non ho nessuna intenzione, colla mia modesta comunicazione, d'invadere il campo riservato a chi è di me più competente in materia, e trattare diffusamente tutta la parte generale della questione. Il mio scopo, assai modesto, lo ripeto, è solo di richiamare l'attenzione degli intervenuti al Congresso sopra un'applicazione dell'ozonizzazione delle acque potabili in iscala industriale, fatta in una città d'Italia, in cui, come in tante altre, il problema dell'acqua potabile s'imponeva urgentemente: la città di Rovigo; e dimostrare così coi fatti che l'Italia non si mantiene estranea ai progressi fatti dalle applicazioni dell'elettricità anche in questo campo; e che, dopo alcuni saggi sperimentali fatti a Casale Monferrato e a Firenze, si sta ora applicando il processo di ozonizzazione ad un acquedotto che, per quanto di capacità limitata, potrà servire come esempio alle altre città italiane, nei loro studi per risolvere il non facile problema dell'acqua potabile.



Intanto, una delle caratteristiche speciali di questo acquedotto è quella di far uso delle acque estratte direttamente da uno dei maggiori nostri fiumi settentrionali, cioè dall'Adige; e quindi di ricorrere ad una delle fonti a cui, nella maggior parte dei casi, si evita di ricorrere, per l'alimentazione idrica di grossi centri abitati. In Italia la città di Rovigo, che utilizza l'acqua dell'Adige, e la città di Adria, che utilizza le acque del Po, sono le prime, a mia conoscenza, che hanno ricorso all'acqua

---

(1) *Congrès Intern. des Applic. de l'Électr.* Marseille, 1908. Neuv. Section. Rapports prélim., II Partie, pag. 665.

di fiumi in pianura, quando questi hanno oramai ricevute le acque di tutti gli affluenti e gli scoli di tutte le irrigazioni, e perciò hanno la taccia di essere le più inquinate da germi malsani.

Eppure tale fama di inquinamento si può ritenere davvero, in questo caso, una fama usurpata, perchè siamo ben lontani dall'inquinamento della Senna, della Marna, della Neva e di altri fiumi. Da secoli le popolazioni del Polesine, lungo le rive del Po e dell'Adige, bevono quasi esclusivamente acque di quei due fiumi; e nessuna regione fu meno afflitta da malattie epidemiche (tifo, colera, ecc.) quanto il Polesine.

Le analisi dànno perfettamente ragione alle popolazioni, poichè dimostrano che, in condizioni normali, le acque del Po e dell'Adige, dopo una semplice decantazione, perchè si depositino le particelle solide, costituiscono già, senz'altra depurazione, delle acque abbastanza potabili.

Per limitarci all'Adige, le ricerche del prof. Luigi Pagliani fin dal 1901 dimostrano che le sue acque, nonostante che in esso si versino a monte i rifiuti luridi di una città popolosa come Verona, sono già discretamente buone, quando arrivano all'altezza di Rovigo. Ecco i risultati dell'analisi chimica:

Caratteri organolettici	Sedimento terroso scuro
Durezza totale in gradi franc.	12°.
Ammoniaca	Assente
Acido cloridrico; 0/00	0,0063
" solforico	Traccie
" fosforico	Assente
" nitrico	"
" nitroso	"
" solfidrico	"
Sostanze organiche; in ossig.	Minime traccie.

L'acqua di un pozzo Northon, che si è scavato a Rovigo per avere acqua potabile, è inferiore, per l'analisi chimica, a quella dell'Adige, specialmente per la durezza e per il tenore in acido cloridrico (1).

(1) Prof. Luigi Pagliani, *L'approvvigionamento di acqua potabile per la città e provincia di Rovigo*. Estratto dalla Rivista di Ingegneria Sanitaria " L'Ingegnere Igienista ", anno III, nn. 2-3, 15 gennaio e 1° febbraio 1901.

La posizione pensile del fiume, nella località di cui si tratta, è una circostanza assai favorevole, poichè assicura, per un notevole tratto, una inquinazione esterna relativamente debole; mentre si rendono assai sensibili gli effetti dell'auto-depurazione, che sono generali nelle acque correnti, in condizioni favorevoli.

" Sarebbe „, dice il prof. Pagliani, " essenzialmente la ricchezza " di ossigeno che esse possono prendere in soluzione dall'aria, " che fornirebbe l'elemento di ossidazione ai microrganismi stessi " dell'acqua, per mineralizzare le materie organiche. In questo " fenomeno biochimico, i microrganismi saprofitici nitrificanti " avrebbero più forte azione, e questa si estenderebbe pure alla " distruzione dei microrganismi patogeni meno resistenti, e che " necessitano condizioni di vita più delicate e propiz ie.L'in- " fluenza della luce, e particolarmente dei raggi solari, come " potenti agenti di sterilizzazione dei germi patogeni, si aggiun- " gerebbe a rendere più completa la depurazione delle acque " scorrenti all'aperto „.

Una recente analisi, fatta nei laboratori del Ministero dell'Interno per incarico del Municipio di Rovigo, sull'acqua dell'Adige nel punto in cui si fa l'estrazione, ha dato, per riferimento ad un litro d'acqua, i seguenti risultati, che concordano coi precedenti:

Caratteri organolettici	Buoni
Reazione	Neutra
Durezza totale in gradi franc.	17°.
Sostanze organiche; ossigeno consumato	0,008
Acido nitrico	Traccie
„ nitroso	„
Cloro	0,040
Acido solforico	Piccole quantità
Ammoniaca	Assente.

L'analisi batteriologica di campioni d'acqua prelevati in tempo di magra, riferita a 1 cc. d'acqua, per colonie contate nelle colture normali in gelatina, mantenute per 9 giorni alla temperatura di 18°, ha dato recentemente i seguenti risultati:

	I	II
Fluidificanti:		
Schizomiceti	30	40
Non fluidificanti:		
Ifomiceti	200	300
Blastomiceti	4	2
Streptotrix	0	0
Colonie sospette patogene	2	4
Totale	236	346

Tali analisi indurrebbero quindi a dichiarare senz'altro l'acqua come potabile.

Senonchè, mentre tutto ciò può ritenersi accettabile in tempi ordinari, non è più precisamente così quando l'acqua dell'Adige, che in tempo di magra e dopo un periodo di giornate asciutte è limpida e chiara, diventa torbida e ricca di materiali in sospensione, sia per le piene autunnali derivanti da prolungate pioggie, sia per le piene della prima estate, dovute allo scioglimento delle nevi.

E difatti l'esame batteriologico dimostra che il numero delle specie dei germi e il numero totale di colonie presenti nelle acque, all'altezza di Rovigo, e precisamente alla località Boara, dove si fa l'estrazione dell'acqua destinata all'alimentazione della città, sono straordinariamente maggiori nell'epoca di acque torbide; e ciò, tanto se la piena dipende dalle pioggie, che apportano naturalmente maggiori inquinazioni, quanto se la piena dipende dallo scioglimento delle nevi. In ambedue i casi, la maggiore inquinazione dipende principalmente da quella che è latente nel fiume stesso, precisamente nei depositi del fondo, e che è rimossa e sollevata, durante il periodo delle piene, per la maggior velocità che determina nella corrente i movimenti vorticosi perturbanti il fondo stesso. Il che fu esattamente provato dalle ricerche del Dr. Carlo Mazza, fatte appunto sulla composizione del deposito di fondo del fiume e sul suo contenuto in batteri. Sicchè in tempo di piena il numero delle specie diverse di colonie sale da 5 a 14 e a 18, e il numero medio di

colonie sviluppatesi per cc. d'acqua dei campioni sale a 5000 e talvolta anche a 10.000 (1).

Le acque dell'Adige sono dunque a ritenersi come buone, nella località in cui si fa l'estrazione per Rovigo, specialmente nei periodi di magra; ma nei periodi di piena non possono considerarsi come scevre da pericoli di inquinazione; e, benchè i microrganismi riscontrati appartengano generalmente alle più comuni varietà saprofitiche, pure bisogna ammettere prudentemente che tali acque non potrebbero essere senz'altro adibite all'uso degli abitanti. Sicchè l'Amministrazione Comunale di Rovigo ha deciso, con molta ragionevolezza, di compiere la purificazione delle acque, in modo che esse siano completamente sterilizzate anche nei casi di piene eccezionali.

E l'Amministrazione stessa, tra le diverse soluzioni presentate, scelse l'ozonizzazione, accogliendo il progetto compilato dalla Ditta Siemens e Halske.

Tale progetto, dopo la mia nomina a ingegnere consulente del Comune di Rovigo, e durante l'esecuzione dei lavori, ebbe a subire parecchie varianti, sopra proposte concrete della stessa Ditta Siemens, proposte da me cordialmente accettate, perchè miglioravano sensibilmente le linee del progetto primitivo, senza aumentare in alcun modo la spesa a carico del Comune, e senza che potessero far temere una variazione nelle spese previste di esercizio. E poichè, mentre sto scrivendo queste brevi note, si sta mettendo in opera il macchinario, così la descrizione che segue risponde perfettamente all'impianto che di qui a breve tempo potrà essere in esercizio.

***

L'acqua è presa quasi di fronte alla vecchia strada bassa di Boara, a circa Km. 3,500 dal centro dell'abitato di Rovigo. La presa nell'Adige è fatta mediante un sifone che, seguendo l'andamento trasversale dell'argine, porta l'acqua sopra una batteria di filtri destinati a trattenere le materie in sospensione.

---

(1) Prof. Luigi Pagliani, mem. cit.

In prossimità dei filtri sorge un fabbricato in cemento armato destinato a contenere il macchinario e le torri di sterilizzazione; le quali ultime sono collocate sotto una parte del locale del macchinario, in modo che l'acqua cada nelle torri stesse, anzichè essere spinta in ascesa, come avveniva nel primo progetto.

L'energia necessaria per il funzionamento è presa dalla rete primaria della Società Adriatica a 7000 volts, dopo un'opportuna trasformazione a 220 volts, con una frequenza di 42 periodi. Un motore ad olii pesanti, unito ad un alternatore, costituisce la riserva, qualora dovesse mancare l'energia della Società Adriatica.

Tutto l'impianto meccanico e di sterilizzazione è fatto per poter fornire 1000 mc. di acqua sterilizzata in 12 ore, quantità che è stata calcolata sufficiente per la città di Rovigo, e che sarà erogata però durante tutte le 24 ore, regolando la distribuzione secondo il bisogno, e valendosi di un serbatoio di 200 mc. di capacità ed altezza sufficiente, per fornire l'acqua nelle ore di minor consumo, senza che sia necessario far funzionare continuamente il macchinario.

L'energia necessaria è calcolata non maggiore di 35 cavalli; cosicchè il motore Diesel di riserva è appunto per la potenza di 35 cavalli in esercizio normale; il motore però è capace di fornire temporaneamente fino a 40 cavalli, con un volano per un grado di irregolarità non maggiore di 1/100.

L'alternatore trifase, unito direttamente al motore, è capace di assorbirne tutta la potenza e genera corrente a 220 volts. La corrente proveniente dalla Società Adriatica e quella proveniente dall'alternatore sono unite in parallelo sopra una linea trifasica principale, con opportuni separatori, per poter lavorare anche distintamente.

La linea trifasica è destinata ad alimentare tutto il macchinario dell'installazione, e cioè:

a) i motori dei compressori d'aria;

b) il motore per l'essiccazione dell'aria;

c) i motori per i convertitori destinati ad alimentare gli ozonizzatori;

d) i motori per le pompe dell'acqua.

L'aria, assorbita dall'ambiente, passa attraverso l'apparecchio di essiccazione, ed è spinta dai compressori attraverso gli ozonizzatori; l'aria ozonizzata viene introdotta al basso delle torri sterilizzatrici, salendo attraverso l'acqua che, provenendo dai

filtri, discende nelle colonne stesse; l'aria ozonizzata in eccesso ritorna agli ozonizzatori; l'acqua sterilizzata viene aspirata mediante le pompe e spinta nel serbatoio di riserva e nella tubazione di distribuzione.

Tale è lo schema delle operazioni necessarie per la sterilizzazione. Veniamo ora ai particolari dell'impianto.

***

L'apparecchio di essiccazione, per 80 mc. di aria all'ora, si compone di un motore trifase a 220 volts di 2 HP, che mette in moto direttamente un compressore verticale chiuso e un condensatore montato sulla stessa base, con serpentino in rame e tubazioni per l'acido carbonico, serpentini per l'acqua, ecc. Si tratta insomma di una vera macchina frigorifica, non essendosi trovato conveniente un impianto a cloruro di calcio; l'umidità, in queste regioni, è generalmente assai grande, sicchè per un esercizio regolare si dovrebbe cambiare troppo sovente il cloruro, e l'esercizio stesso diventerebbe più caro e meno facile che con una macchina da ghiaccio.

L'aria, una volta essiccata, viene poi convenientemente riscaldata.

I compressori d'aria sono in numero di tre, ed ognuno può comprimere un volume di 36 mc. d'aria all'ora, attraverso una colonna d'acqua di 4 mm. Ognuno di essi è messo in moto direttamente da un motore trifasico a 220 volts, di circa 2 HP, e corrisponde ad una delle torri sterilizzatrici.

I convertitori sono in numero di due e sono composti ognuno di un motore trifase a 220 volts, della potenza di circa 9 HP direttamente accoppiato sopra una stessa base con un generatore monofase, a 42 volts, della potenza di 6 KVA con una frequenza di 300 periodi. Si tratta dunque di un convertitore non solo di tensione, ma altresì di frequenza, essendo quest'alta frequenza necessaria per il buon funzionamento degli ozonizzatori.

La linea che parte dagli alternatori monofasi a 42 volts e 300 periodi alimenta due trasformatori monofasi in olio, della potenza ciascuna di 6 KVA, che trasformano la tensione da 42 a 7000 volts.

È questa corrente monofase a 300 periodi e 7000 volts che alimenta gli apparecchi ozonizzatori, in numero di otto, di cui

ogni gruppo di quattro apparecchi può essere elettricamente e meccanicamente disinserito. Gli ozonizzatori sono del noto tipo Siemens a doppi tubi concentrici: un cilindro interno di alluminio chiuso alle due estremità, ed uno esterno di vetro aperto alle basi e tenuto sempre freddo da una corrente d'acqua. Nell'intercapedine di circa mezzo centimetro esistente fra i due cilindri circola l'aria e avvengono le scariche oscure che la ozonizzano. La cassa di metallo esterna, collegata con uno dei poli ad alta tensione, è messa a terra, cosicchè tutte le parti libere della cassa possono essere toccate dal personale di servizio senza alcun pericolo; il secondo polo dell'alta tensione è collocato nell'interno dell'apparecchio e durante il funzionamento è inaccessibile.

Le torri di sterilizzazione sono in numero di tre, in ferro battuto, dell'altezza di m. 3,60 e capaci ognuna di sterilizzare 40 mc. d'acqua all'ora. Esse non sono dell'antico sistema a ciottoli presentato dalla Ditta Siemens al concorso di Parigi nel 1907, ma del sistema combinato Siemens-De Frise, senza alcun riempimento all'interno; avendo solo dei diaframmi in celluloide, disposti a piani (5 per ogni colonna), con un grandissimo numero di piccoli fori, attraverso i quali l'acqua è costretta a discendere suddividendosi minutamente e quasi polverizzandosi, per mescolarsi intimamente all'aria ozonizzata che sale.

Una torre di sterilizzazione è di riserva, poichè bastano due di esse per sterilizzare la quantità richiesta di 1000 mc. d'acqua in 12 ore. Similmente è di riserva uno dei compressori, poichè bastano gli altri due a far passare negli ozonizzatori un volume d'aria uguale press'a poco al volume d'acqua che si tratta di sterilizzare; il che risponde alla proporzione adottata nell'impianto ultimo di Hermannstadt (Nagyszeben). Con ciò si ha un eccesso d'aria ozonizzata, perchè nelle esperienze del 1907 a Parigi si constatò che, a seconda degli apparecchi, bastava che il volume d'aria fosse tra i $^{5}/_{11}$ e i $^{4}/_{5}$ del volume dell'acqua.

La riserva del macchinario è ancora maggiore per ciò che riguarda l'ozonizzazione dell'aria; un convertitore, un trasformatore e una batteria di ozonizzatori sono di riserva, la quale raggiunge così il 100 $^{0}/_{0}$.

L'acqua viene aspirata dalle torri col mezzo di due pompe centrifughe, ognuna della portata di 1400 litri al minuto primo, per una prevalenza di 25 metri; ognuna di esse è unita ad un motore trifasico a 220 volts, della potenza di 14 HP.

Ecco così esposto succintamente il ciclo delle operazioni per l'essiccazione dell'aria, per l'ozonizzazione di essa e per la circolazione dell'aria e dell'acqua, la quale ultima esce dalle colonne completamente sterilizzata.

Basta appena avvertire che tutte le tubazioni per l'aria ozonizzata sono in grès; e che tutte le altre tubazioni nell'interno del fabbricato sono protette contro l'influenza dell'ozono.

Ogni motore trifasico ha un quadro di manovra con un amperometro, un interruttore tripolare a scatto e le valvole di sicurezza. Inoltre un quadro principale contiene tutti gli apparecchi di misura e di controllo: *a)* per la corrente principale, sia della rete esterna, sia dell'alternatore di riserva; *b)* per i motori dei gruppi convertitori; *c)* per i generatori di alta frequenza; *d)* per i trasformatori.

Infine vi è un dispositivo completo per misurare la quantità di ozono prodotto; cosicchè si possa, quando si voglia, conoscere in modo preciso se tale quantità corrisponde alle condizioni dell'acqua.

Una delle preoccupazioni negli impianti di sterilizzazione mediante l'ozono è che, in seguito ad eventuali irregolarità nell'esercizio dell'impianto elettrico o nell'adduzione dell'aria, possa accadere che l'acqua circolante nelle torri non sia sottoposta all'azione dell'aria ozonizzata e che quindi possa passare, non depurata, nel serbatoio e nelle condutture di distribuzione. È perciò che in tutti gli impianti del genere sono installati dei dispositivi per segnalare tali eventualità, affinchè si possa provvedere senza indugio. Nel caso presente si è ritenuto sufficiente un dispositivo di segnalazione ottica ed acustica, tanto per i guasti nelle condutture dell'aria, quanto per le irregolarità dell'impianto elettrico; il personale è così immediatamente avvertito e sospende subito la distribuzione dell'acqua, per tutto il tempo necessario a riparare all'inconveniente. Certo è minor male restare temporaneamente con una provvista d'acqua limitata (quella del serbatoio di riserva), anzichè correre il pericolo che i germi inquinanti l'acqua bruta possano passare liberamente nella distribuzione, senza aver subita l'azione sterilizzante dell'aria ozonizzata.

Del resto l'effetto reale di sterilizzazione può essere constatato in ogni impianto con un mezzo assai semplice, il quale, benchè empirico, non è meno efficace e sicuro. Secondo tutte le esperienze, se l'acqua che esce dalle torri sterilizzatrici con

tiene un eccesso di ozono, si può essere sicuri che in essa sono stati distrutti tutti i germi patogeni, i quali, come è noto, sono più sensibili all'azione sterilizzatrice che non i batteri più comuni; questi anzi, a quanto pare, avrebbero un'azione di difesa delle buone qualità dell'acqua (1). In Italia le esperienze fatte a Casal Monferrato assicurano completamente sopra il fatto che l'eccesso di ozono nell'acqua è una dimostrazione sicura della sterilizzazione completa (2). Basta dunque che il personale addetto all'impianto si assicuri di tempo in tempo che l'acqua sterilizzata contiene un eccesso di ozono, perchè si possa essere praticamente sicuri dell'azione sterilizzatrice completa. E poichè la prova per l'eccesso dell'ozono è una delle più semplici e alla portata di qualunque operaio — giacchè si basa semplicemente sull'azione dell'ozono rispetto all'joduro di potassio (la nota colorazione in azzurro) — così si può essere sicuri che essa sarà eseguita continuamente e diligentemente, in modo da dare la più completa sicurezza.

Nè questo eccesso di ozono deve preoccupare per il suo effetto sulle qualità organolettiche dell'acqua. È oramai accertato che l'ozono in eccesso sparisce dall'acqua dopo pochi istanti dall'uscita dalle torri sterilizzatrici; e le esperienze accurate fatte a Casale Monferrato sono esaurienti in proposito (3).

Nel caso presente poi, in cui l'acqua è spinta dalle pompe nel serbatoio di riserva, prima di essere introdotta nella conduttura principale di distribuzione, e in cui non vi è erogazione d'acqua se non dopo almeno tre chilometri di conduttura, ogni timore in proposito deve essere ritenuto infondato.



Non è mia intenzione, come ho già detto, di entrare in una discussione sopra i vantaggi dei diversi sistemi di depurazione delle acque potabili. Sarebbe còmpito troppo grave per me.

---

(1) *Atti della Soc. Ital. per il Progresso delle Scienze.* Quarta riunione. Napoli, 1910, pag. 851.

(2) Laboratorio chimico della Sanità pubblica, M. Cingolani e A. Bajardi, *Sterilizzazione per mezzo dell'ozono dell'acqua da adibirsi ad uso potabile.*

(3) Labor. chim., c. s., mem. cit., pag. 27.

È certo che la depurazione mediante l'ozonizzazione col metodo Siemens-De Frise ha il sostegno dell'applicazione pratica di Paderborn (1), Nizza (2), Pietroburgo, Parigi (3), Nagyszeben (4), per non citare che le principali installazioni; e in Italia, le accuratissime esperienze eseguite a Casale Monferrato nel 1909 dalla Direzione Generale della Sanità (5) non possono lasciare dubbi sugli effetti di sterilizzazione ottenuti con questo metodo. Sicchè la scelta fatta dall'Amministrazione Comunale di Rovigo del predetto sistema di depurazione è confortata dall'assenso degli studiosi e dei pratici.

Non è inutile però di accennare che nella città di Adria, vicinissima a Rovigo, si sta costruendo un acquedotto all'incirca della stessa importanza di quello di Rovigo, utilizzando le acque del fiume Po, che sono nelle stesse condizioni di quelle dell'Adige, e forse in condizioni un po' migliori; e in questa installazione la depurazione sarà ottenuta mediante una filtrazione razionale e graduale, secondo il noto sistema Puech-Chabal, di cui i pregi sono stati riconosciuti nel recente concorso di Marsiglia.

Sarà interessante, una volta che i due acquedotti saranno in esercizio, in regime normale, seguirne l'andamento in modo comparativo e vederne gli effetti, non solo dal punto di vista della perfetta depurazione, nel senso di dare un'ottima acqua potabile, ma anche dal punto di vista economico, cioè delle spese di esercizio.

Tale esame comparativo, se non potrà attenuare le discussioni tra i caldi seguaci esclusivi dell'uno o dell'altro sistema, potrà però essere di grande vantaggio per le altre città ita-

---

(1) Dr. KARL SCHREIBER, *Zur Beurtheilung des Ozonverfahrens für die Sterilisation des Trinkwassers.* " Mittheilungen d. Kgl. Prüfunganstalt für Wassersorgung und Abwässerbeseitigung ". Heft 6, 1905.

(2) PILATTE, *La Stérilisation des eaux par l'Ozone. Essai de l'application de la ville de Nice.* " Revue scientifique ", 1906.

(3) Rapport (1908) de l'Ingénieur en chef Colmet Daage et du chef du service chimique et micrographique de l'observatoire de Montsouris, Dr. Miquel, à la Préfecture du département de la Seine. — " Bulletin municipal officiel de la Ville de Paris ", n. 354, 1909 et n. 86, 1909.

(4) Dr. GG. ERLWEIN, *Das Ozonwasserwerk Hermannstadt* in Siebenbürgen (Ungarn). Gesundheit, XXXV. Jhrg., 1910, n. 17.

(5) Labor. chim., c. s., mem. cit.

liane, le quali, approfittando della recente legge sui prestiti di favore per impianti di acquedotti, volessero usufruire di acque correnti vicine, anzichè ricorrere a lontane fonti di alimentazione.

Intanto mi parve utile di segnalare al Congresso l'impianto di Rovigo, come il primo in Italia che, in iscala modesta, ma praticamente industriale, ha adottato il sistema dell'ozonizzazione per rendere potabili le acque del fiume Adige.

RÉSUMÉ

L'A., après avoir rappelé les communications sur la stérilisation des eaux présentées au Congrès de St.-Louis en 1904 et au Congrès de Marseille en 1908, exprime l'espoir que, dans ce Congrès, la communication, certainement très complète, annoncée par Mr. Gg. Erlwein, sera suivie d'une large discussion.

L'A. n'a pas l'intention d'empiéter sur le champ réservé à des plus compétents, et il se propose seulement de faire quelques remarques, peut-être non dépourvues d'intérêt, sur la stérilisation de l'eau de l'aqueduc de Rovigo, première ville en Italie devant appliquer l'ozonisation à la stérilisation des eaux d'une des rivières les plus importantes de ce pays, l'Adige.

Les eaux de l'Adige et du Pô, dans la plaine du Polésine, sont suffisamment potables, dans les conditions normales, soit au point de vue chimique, soit au point de vue bactériologique; l'expérience de plusieurs siècles et les analyses faites dans ces derniers temps l'ont démontré.

Cependant dans les périodes de crue on ne peut être complètement sûr de leur qualité, en raison de la quantité de matières solides qu'elles tiennent en suspension.

C'est pour cette raison que la ville de Rovigo a décidé d'appliquer l'ozonisation, suivant les procédés Siemens-De Frise.

L'eau de la rivière, après décantation et filtrage, est stérilisée dans des tuyaux en fer, suivant la méthode De Frise, c'est-à-dire

sans gravier; dans ces tuyaux, ou colonnes, l'eau tombe d'en haut, tandis que l'ozone monte d'en bas, en traversant des cloisons en celluloïd formant tamis; l'eau stérilisée est ensuite refoulée dans un réservoir et dans la conduite de distribution.

L'air est d'abord desséché par une machine à refroidissement; il est ensuite envoyé, par des compresseurs, aux ozoniseurs du type Siemens, d'où il sort pour aller aux colonnes de stérilisation.

L'énergie nécessaire aux appareils est fournie par le réseau secondaire d'une distribution locale à 220 volts, ou par un alternateur de réserve actionné par un moteur Diesel de 35 ch. — Des moteurs électriques actionnent la machine à dessécher, les compresseurs et les pompes. — Des convertisseurs (moteurs-alternateurs) transforment une partie du courant à 220 volts et 42 périodes: seconde en courant à 42 volts et 300 périodes: seconde, qui, à son tour, est transformé, par des transformateurs statiques, en courant secondaire à 7000 volts et 300 périodes: seconde, destiné à l'alimentation des ozoniseurs.

Un appareil optique et acoustique signale tout dérangement éventuel dans la conduite d'air ou dans l'installation électrique.

Quant aux effets de l'ozonisation, l'A. rappelle particulièrement les expériences faites à Casale Monferrato par la Direction de la Sanité publique (Ministère de l'Intérieur), et dont les conclusions ont été tout-à-fait satisfaisantes.

L'installation est prévue pour l'épuration de 1000 m³ d'eau en 12 heures; toutes les machines ont une large réserve de puissance.

L'A. conclut que l'installation de Rovigo, fondée sur le principe de l'ozonisation, et l'installation de Adria, fondée sur le principe du filtrage rationnel et graduel, sont d'un très grand intérêt pour nombre de villes italiennes, où le problème de l'eau potable attend encore une solution.

LA STÉRILISATION

des eaux d'alimentation des villes par les Rayons Ultra-Violets.

M. v. RECKLINGHAUSEN (Paris).

Les hygiénistes se préoccupent de plus en plus de la pureté des eaux destinées à l'alimentation et, pour répondre à leurs désirs, les industriels ont imaginé successivement de nouveaux procédés pour *stériliser* l'eau, ce qui signifie: pour la débarrasser de tous ses microbes nuisibles, voire même de toute espèce de germes.

Aux *Filtres* simples ont succédé les installations de *Filtration successive*, puis les filtrations avec emploi de *coagulants*, les procédés de *désinfection* chimique, *chlore* et *ozone*, ce dernier étant le premier procédé *électrique* proposé pour la purification de l'eau.

Le dernier perfectionnement qui ait été réalisé dans la stérilisation de l'eau est un autre procédé électrique, celui de la stérilisation par les *Rayons Ultra-Violets.*

Bien que l'application des *Rayons Ultra-Violets* semble être le procédé le plus récent, c'est en réalité le plus ancien, car il a été utilisé de tout temps par la *nature.*

La lumière solaire est un des plus puissants agents bactéricides connus, et c'est à son action que nous devons la majeure partie, si ce n'est la totalité de la purification naturelle des eaux.

Le pouvoir bactéricide des rayons solaires a été étudié moins en ce qui concerne la production d'une bonne eau potable, qu'au point de vue de son immunisation des eaux usées des villes. Il est surprenant de voir avec quelle rapidité une rivière

polluée par les eaux de rejets d'une ville est rapidement débarrassée des bactéries qu'elles lui apportent, et, en fait, rendue pratiquement inoffensive pour la santé des riverains situés en aval.

Comme d'autre part il est constaté que les eaux souillées, lorsqu'elles circulent dans des conduites fermées, ne perdent pas, même au contact de l'air, leurs effets toxiques dus à la grande quantité de microbes qu'elles contiennent, il est bien démontré que leur stérilisation dans les rivières est due à la lumière de jour.

Il a été reconnu que cette stérilisation naturelle est due surtout au pouvoir bactéricide des *Rayons Ultra-Violets* contenus dans la lumière solaire.

Dans les contrées tropicales, la température élevée est particulièrement favorable au développement des microbes. C'est, pratiquement, ce procédé que les bactériologistes imitent dans les laboratoires pour obtenir des cultures rapides de germes. Mais en même temps, une grande intensité de lumière solaire étant répandue dans l'atmosphère, cette grande luminosité combat l'effet de la chaleur, en tuant les germes, qui, sans cela, se trouveraient dans les conditions les plus favorables à leur développement.

Si l'on ne se trouvait pas en présence de l'action bactéricide de la lumière solaire, quelle autre explication pourrait-on donner du fait que dans les contrées le plus sujettes au choléra, les épidémies s'arrêtent de temps en temps, sans aucune raison visible? Comment pourrait-on également expliquer le fait que dans certaines parties de l'Inde, où les habitants jettent les morts dans les rivières au lieu de les enterrer ou les incinérer, les épidémies de choléra apparaissent à de rares intervalles, quoique les eaux soient gravement polluées dans les régions où les corps sont ainsi jetés?

Nous mentionnons ces faits seulement pour montrer que l'application de la lumière à la stérilisation n'est pas un procédé artificiel, analogue, par exemple, à l'addition de produits chimiques. Elle se rapproche beaucoup plus du moyen naturel de purification de l'eau par filtration. C'est un procédé que la nature nous a elle-même indiqué, et nous n'avons rien de mieux à faire qu'à le suivre.

Les savants ont mis très longtemps avant d'étudier le procédé de stérilisation de l'eau par l'éclairage artificiel, et ceci pour

deux raisons. En premier lieu, c'est seulement à une époque peu éloignée que le phénomène a été analysé, et qu'on a trouvé que l'action bactéricide de la lumière est due à une certaine partie du spectre lumineux, nommée *Rayons Ultra-Violets*; et en second lieu, cela tient également à ce que la découverte de puissantes sources de radiations ultra-violettes est toute récente.

Le spectre du soleil est extrêmement riche en rayons ultra-violets; mais, dans la lumière solaire qui nous parvient, une très grande partie de ces rayons a disparu par suite du pouvoir absorbant élevé bien connu de l'air pour ces rayons de courtes longueurs d'onde.

On peut facilement se rendre compte de l'effet des *Rayons Ultra-Violets* dans les localités où l'atmosphère est moins dense, par exemple au sommet des montagnes. Les cas bien connus d'insolation dont on est frappé dans les Alpes sont dus à la moindre densité de l'atmosphère, et par suite à l'absorption d'une plus petite quantité des *Rayons Ultra-Violets* émis par le soleil.

Pour en venir aux sources *artificielles* des *Rayons Ultra Violets* il semble que toutes les sources de lumière ordinaire en produisent en très petite quantité, mais cette quantité semble dépendre non seulement de la température de la source lumineuse, mais aussi et surtout de son agencement.

Les sources de lumière produites à basse température, telles que le gaz, les lampes électriques à incandescence et autres, sont très pauvres en radiations ultra-violettes. Au contraire, les sources de lumière basées sur l'incandescence des vapeurs en semblent très riches; toute production abondante de ces radiations semble provenir de vapeurs incandescentes et non de solides; celles qui nous viennent du soleil, par exemple, sont produites par l'atmosphère gazeuse incandescente qui se trouve à sa surface.

Les sources de lumière basées sur l'incandescence de vapeurs appartiennent en majeure partie à la classe des arcs électriques jaillissant entre électrodes métalliques. Parmi ces sources sont les arcs produits entre électrodes en fer ou similaires, que Finsen a employés dans ses recherches et dans le traitement du lupus. Ces sortes d'arcs ont toutefois l'inconvénient de manquer de fixité, et de nécessiter un mécanisme compliqué pour le maintien des électrodes à distance convenable. En outre, il se produit

dans les arcs de Finsen des oxydes de fer, et d'autres particules métalliques qui doivent être éloignées de l'arc sous peine de le voiler et d'y produire des perturbations.

C'est pourquoi il est préférable d'utiliser des arcs dans lesquels les vapeurs métalliques ne s'altèrent pas, et alors de les enfermer complètement de façon à empêcher ces vapeurs métalliques de s'échapper. Le type de ces arcs est la lampe à vapeur de mercure enfermée dans une enveloppe de quartz.

La lampe à vapeur de mercure, lorsqu'elle est bien établie, produit une lumière absolument fixe, uniforme et puissante. Elle a une très longue durée et par suite offre une source de *Rayons Ultra-Violets* très économique.

Nous devons la majeure partie de nos connaissances sur l'arc à vapeur de mercure enfermé dans les tubes de verre aux travaux de P. Cooper Hewitt, l'ingénieur américain bien connu, dont les recherches ont abouti à la création de la lampe qui porte son nom.

La production de ce même arc dans des tubes de quartz a été particulièrement étudiée par Heraeus et Kuech qui, les premiers, produisaient industriellement du quartz fondu pour ces usages. Ces lampes à vapeur de mercure en quartz sont maintenant fabriquées industriellement par deux Sociétés: la Westinghouse Cooper Hewitt Company, à Paris et Londres, et la Quartz Lampen Gesellschaft, à Hanau.

En vue d'une production plus intense de *Rayons Ultra Violets* on a essayé de remplacer, en tout ou en partie, le mercure de ces lampes par d'autres métaux. Les lampes, ainsi constituées, ne sont pas encore suffisamment au point pour être utilisées industriellement.

On a aussi essayé de produire des *Rayons Ultra-Violets* dans des tubes Geissler en quartz, mais leur rendement et l'uniformité de leur lumière sont de beaucoup inférieurs à ceux des lampes à arc au mercure.

Pour conclure, il faut déclarer que, pour le moment, nous ne pouvons compter que sur la lampe à vapeur de mercure en quartz genre Cooper Hewitt comme source industrielle et intense de *Rayons Ultra-Violets.*

Il convient maintenant de définir l'expression *Rayons Ultra-Violets* d'une façon un peu plus claire.

Les vibrations de l'éther donnent lieu, suivant leur longueur d'onde, à différents groupes de rayons assez hétérogènes :

1° les rayons électriques (Hertz) d'une longueur d'onde allant depuis plusieurs kilomètres à 3 mm.;

2° les rayons, d'une nature encore inconnue, intermédiaires entre le groupe 1° et le groupe 3°;

3° les rayons infra-rouges (Herschel) d'une longueur d'onde comprise entre 313 μ et 0,76 μ;

4° les rayons visibles (Newton) compris entre 0,76 μ et 0,40 μ;

5° les *Rayons Ultra-Violets* (Ritter) compris entre 0,40 μ et 0,10 μ.

La vitesse de tous ces rayons est de 300.000 kilomètres par seconde.

Le quartz fondu absorbe les rayons d'une longueur d'onde inférieure à 0,2 μ.

L'air, en couche de quelques centimètres, n'absorbe guère les rayons que le quartz laisse passer, quoique en couche de plusieurs kilomètres, l'atmosphère terrestre absorbe tous les *Rayons Ultra-Violets* émis par le soleil jusqu'à 0,28 μ à 0,3 μ.

On conçoit donc qu'il y ait une sorte d'adaptation des êtres vivants à la lumière solaire. Ils sont adaptés à la lumière jusqu'à 0,3 μ tandis que les *Rayons Ultra-Violets*, arrêtés par l'atmosphère, sont particulièrement nocifs pour tous nos êtres vivants et surtout les petits d'entre eux.

Nous avons dit plus haut que l'unique source vraiment industrielle pour ces *Rayons Ultra-Violets* est la lampe à mercure en quartz. On a naturellement étudié ces lampes pour en tirer un maximum d'ultra-violet.

Le rendement de ces lampes en ultra-violet change, comme on pouvait s'y attendre, dans de très larges limites avec leur régime électrique, c'est-à-dire avec les watts consommés dans la lampe, et avec la température de la colonne lumineuse de l'arc même.

Si l'on considère comme efficaces pour la stérilisation les rayons de longueur d'onde inférieure à 0,32 μ et si l'on compare les watts rayonnés sous cette forme d'énergie, on peut se rendre compte des différents régimes de fonctionnement des lampes. Par exemple, en étudiant une lampe Westinghouse Cooper Hewitt (Type 220 volts), Fabry a obtenu la transformation de 6,4 watts en radiations ultra-violettes sur 100 watts fournis à la lampe (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 10 Juillet 1911). La lampe marchait avec 133 volts aux bornes et 4,2 ampères. Il a ensuite fortement refroidi la lampe en l'immergeant sous

l'eau. Elle ne donnait plus que 0,13 watts en ultra-violet pour 100 watts fournis à la lampe. La lampe, grâce au refroidissement, fonctionnait avec 31,5 volts aux bornes et 11,0 ampères.

" La lampe immergée a été préconisée pour la stérilisation de l'eau dans le but d'utiliser plus complètement son rayonnement. On voit combien son emploi est peu économique puisque son rendement est environ 50 fois plus faible que celui de la même lampe en régime poussé! „ (FABRY, loc. cit.).

Il est donc clair que le régime " poussé „ est préférable. Il y a pourtant lieu d'examiner, si ce régime poussé ne nuit pas à la lampe en diminuant graduellement son émission de *Rayons Ultra-Violets* ou même sa durée.

V. Henri (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 14 Août 1911) a suivi plusieurs lampes qui sont restées en service presque continuel depuis plusieurs années. Il a trouvé que, même après 2000 et 7000 heures de marche, la diminution de l'intensité ultra-violette n'était pas encore appréciable.

On pouvait d'ailleurs s'y attendre d'après les résultats photométriques ordinaires, obtenus avec des lampes de même type pour l'éclairage, qui ne montrent guère de diminution en luminosité après des milliers d'heures de service.

La détermination de la luminosité ultra-violette n'est pas chose facile. Depuis longtemps on a cherché une méthode commode pour évaluer la quantité de *Rayons Ultra-Violets* émise par une lampe ou plutôt son pouvoir stérilisant.

V. Henri (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 24 Juillet 1911) a comparé les différentes réactions biologiques, chimiques, etc., des *Rayons Ultra-Violets*, et il est arrivé à la conclusion que l'action des *Rayons Ultra-Violets* sur le papier au citrate d'argent (noircissement) est un indice de grande exactitude du pouvoir stérilisant de la lampe, et que la vitesse de noircissement du papier au citrate d'argent est sensiblement proportionnelle à la vitesse de stérilisation.

Les mêmes études ont permis à M. Henri de déterminer d'une façon très certaine qu'en poussant le régime de la lampe le rayonnement ultra-violet augmente plus vite que son rayonnement visible total.

De ces travaux, et de la grande quantité d'essais faits par nous et par d'autres praticiens, on peut donc tirer avec certitude la conclusion, que la lampe à mercure en quartz, brûlant à un régime voisin de celui des mêmes lampes utilisées pour

l'éclairage, émet une énorme quantité de *Rayons Ultra-Violets*, et cela d'une façon constante pendant des milliers d'heures.

Il y a près de trois ans que nous, c'est-à-dire M. Henri, M. Helbronner et moi, avons commencé à étudier la stérilisation avec ces lampes au laboratoire de Physiologie de la Sorbonne. Les résultats, se rapportant à l'application qui nous intéresse aujourd'hui, c'est-à-dire à la stérilisation de l'eau, peuvent être résumés comme suit:

De l'eau polluée avec du *bacterium coli*, particulièrement intéressant pour les ingénieurs spécialistes des questions d'eaux, a été soumise à l'action d'une lampe Westinghouse en quartz à vapeur de mercure, fonctionnant sous 220 volts avec un débit de 3 ampères. On a fait varier la distance de la lampe à la surface du liquide. L'eau a été complètement débarrassée de bacterium coli

en	1	seconde à une distance de	10	centimètres
en	4	„ „	20	„
en	15	„ „	40	„
en	30	„ „	60	„

La température a peu d'influence sur la vitesse de la stérilisation: même la glace, si elle est aussi transparente que l'eau, peut être stérilisée pratiquement dans le même temps que l'eau à l'état liquide.

La présence ou l'absence d'oxygène dans l'eau est également indifférente à l'action des *Rayons Ultra-Violets*.

La stérilisation n'est pas due à la production d'eau oxygénée, car la quantité d'eau oxygénée produite sous l'influence des *Rayons Ultra-Violets* est si petite qu'elle serait tout à fait insuffisante pour détruire le bacterium coli. D'après les expériences de Kernbaum (Comptes rendus de l'Académie des Sciences du 26 Juillet 1909) cette quantité d'eau oxygénée ne commence à être dosable, par les procédés les plus minutieux, qu'au bout de 8 heures d'action des *Rayons Ultra-Violets* sur l'eau. — Or, d'après ce qui vient d'être dit, la stérilisation complète de l'eau est obtenue au bout de quelques secondes par les lampes Westinghouse. L'effet bactériologique de ces lampes est donc dû, non pas à une action chimique quelconque, mais bien uniquement aux radiations ultra-violettes qu'elles émettent.

Les diverses espèces de microbes ne sont pas toutes égale-

ment sensibles à la lumière ultra-violette, de même qu'elles ne sont pas également sensibles à la chaleur ou aux actions chimiques.

Leur vitesse de destruction peut être établie comme suit, à titre de comparaison: staphylocoques, 5 à 10 secondes; choléra, 10 à 15; coli, 15 à 20; thyphoïde, 10 à 20; dysenterie, 10 à 20; pneumobacille, 20 à 30; subtilis, 30 à 50; tétanos, 20 à 60.

En faisant nos expériences, nous avons toujours cherché à réaliser le meilleur rendement industriel en *Rayons Ultra-Violets*, compatible avec le maximum de durée des lampes.

Nous avons évité de les mettre en contact avec l'eau ou encore de les submerger, disposition qui, comme il est dit plus haut, non seulement diminue le rendement en ultra-violet, mais aussi donne lieu, sur les tubes lumineux, à des dépôts calcaires analogues à ceux qui se produisent sur les tubes des chaudières.

Afin de poursuivre ces expériences dans le but de déterminer les dispositions les plus favorables à adopter pour les appareils pratiques de stérilisation, nous avons établi un appareil dans lequel l'eau pouvait couler abondamment en passant successivement sous quatre lampes du type Westinghouse Silica. Ces lampes furent placées sur des flotteurs disposés de telle sorte qu'elles restent costamment à une même petite distance de la surface de l'eau. Le canal d'écoulement de l'eau avait 25 centimètres de largeur et 30 centimètres de profondeur. Le débit de l'eau a varié de 4 à 40 mètres cubes à l'heure. Un grand réservoir d'eau polluée artificiellement par une émulsion de microbes spécialement préparée, une pompe de circulation d'eau et un compteur complétaient l'installation.

L'expérience a montré que la presque totalité de l'action stérilisante a été réalisée après le passage sous la première lampe; la seconde n'a eu que très peu d'effet; les troisième et quatrième pas du tout, l'eau étant complètement stérile après la deuxième lampe. L'eau contaminée contenait 5000 bactérium coli. Après son passage sous la première lampe il n'y en avait plus qu'une moyenne de 100, et 0 après la deuxième lampe.

En tenant compte du débit de l'eau et de l'énergie consommée par la lampe, ces expériences ont montré qu'il suffisait d'une dépense de 36 watts-heure par mètre cube, pour stériliser complètement l'eau polluée comme il est dit ci-dessus.

En poursuivant ces essais, nous avons été frappés des différences considérables dans les résultats obtenus sur des échan-

tillons d'eau de transparences différentes, et nous en avons conclu que l'eau doit être aussi claire que possible pour que sa stérilisation puisse être obtenue avec le minimum d'énergie; aussi, dans nos essais ultérieurs avons-nous toujours opéré sur une eau convenablement clarifiée.

Pour réaliser la stérilisation de grandes quantités d'eau, mettant à profit les indications fournies par les expériences ci-dessus décrites, nous avons songé à utiliser plus complètement les radiations émises par les lampes dans les diverses directions de l'espace, qu'en plaçant simplement une lampe au-dessus d'un courant d'eau. Dans cette disposition, en effet, malgré l'emploi de réflecteurs, peut-être seulement 30 ou 40 % des radiations émises pénètrent dans l'eau et produisent leur effet. Nous avons pensé d'autre part qu'il était inutile d'employer plusieurs lampes pour agir successivement sur la même eau, mais qu'il était beaucoup préférable de faire passer l'eau plusieurs fois sous les radiations émises par la même lampe, en l'agitant constamment de façon à déplacer les parcelles de poussières qu'elle peut contenir et qui constitueraient des écrans derrière lesquels pourraient se cacher les microbes.

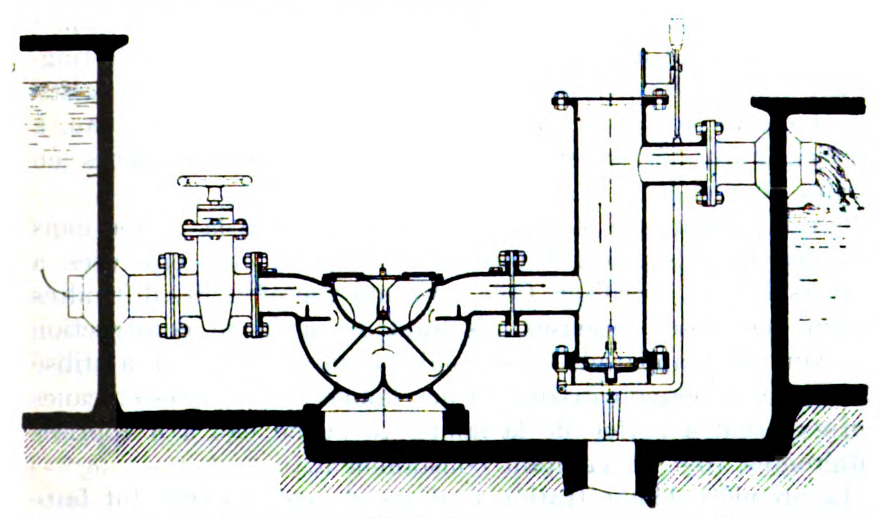


Schéma d'un Sterilisateur R. U. V. Système Henri, Helbronner, Recklinghausen pour eaux d'alimentation de villes.

L'eau clarifiée du réservoir (à gauche) passe par un robinet dans le stérilisateur (qui contient au centre la lampe en quartz à vapeur de mercure, placée dans une boîte munie de fenêtres

en quartz) et ensuite par la soupape déviatrice automatique, dans le réservoir d'eau stérilisée (à droite).

D'autre part, nous avons pensé qu'il était très important de rendre la sécurité du système aussi complète que possible en prévenant toute chance d'introduction dans le réservoir d'eau stérilisée, d'eau qui n'aurait pas été soumise à l'action des *Rayons Ultra-Violets.*

Ce résultat a été obtenu en établissant une relation électrique entre la lampe en quartz et une soupape automatique. Au cas où le courant vient à être fortuitement interrompu, la soupape automatique entre en action; l'eau tombe dans une conduite de vidange et ne peut arriver au réservoir d'eau stérilisée.

Notre appareil du type C_3 a été spécialement étudié, sur ces bases, en vue de la stérilisation de l'eau des villes. Son débit varie de 500 à 600 mètres cubes par 24 heures suivant le degré de clarté de l'eau. Au cas où la quantité d'eau à traiter est supérieure à ce chiffre, plusieurs appareils de ce modèle peuvent être mis en parallèle, chacun d'eux étant indépendant l'un de l'autre.

Ce type C_3 comprend, outre la soupape automatique, le stérilisateur proprement dit, en fonte, à la partie supérieure duquel est disposée une monture de bronze portant la lampe Westinghouse Cooper Hewitt en quartz, de 3 ampères sous 220 wolts. Les faces de cette monture qui sont en contact avec l'eau, à l'intérieur du stérilisateur, sont constituées par des glaces en cristal de roche.

Il est évident que les radiations émanées de la lampe dans tous les azimuts peuvent être utilisées pour être envoyées à travers l'eau à stériliser. Cela présente toutefois des difficultés mécaniques assez sérieuses, résultant du mode de construction des lampes. L'appareil C_3 est celui qui, jusqu'à présent, a utilisé au mieux le pouvoir rayonnant des lampes, grâce à ses chicanes qui exposent à l'effet de la lampe la même eau à 3 reprises différentes, tout en l'agitant constamment.

La première démonstration pratique de cet appareil fut faite en 1910, lors du concours pour l'épuration des eaux à Marseille, où notre système est resté en service pendant plusieurs mois. Il était intéressant en effet de comparer sur place l'efficacité des différents systèmes qui étaient exposés.

L'eau brute était celle de la Durance. Elle passait par notre stérilisateur après avoir été clarifiée préalablement par un

système de dégrossisseurs et préfiltres rapides de Puech et Chabal.

L'eau passait à travers l'appareil avec une vitesse de 500 à 600 mètres cubes par jour.

Lors des essais devant la Commission d'étude, nous avons obtenu avec ce système une purification telle qu'il ne restait seulement qu'une moyenne de 4 germes banals sur 10.000 contenus dans l'eau brute. Le bacterium coli, qui est typique pour une eau suspecte, a toujours été annihilé par le passage de l'eau dans notre appareil.

Depuis cette première démonstration de notre système au concours de Marseille, notre procédé de stérilisation des eaux par les *Rayons Ultra-Violets* est entré dans la pratique pour les distributions publiques des eaux de villes destinées à l'alimentation. La Société Lyonnaise des Eaux, la première, l'a adopté pour sa distribution d'eau potable à une population disséminée dans la banlieue de Rouen. Notre appareil C_3 précédé d'un filtre Puech et Chabal y est en fonctionnement régulier et constant depuis près de 9 mois. Les analyses faites en grand nombre n'ont jamais décélé des microbes nuisibles, coli ou autres dans l'eau sortant de l'appareil.

Une installation de notre système est en construction à Isle-sur-Sorgue.

La Ville de Saint-Malo et la Ville d'Amiens ont décidé d'adopter notre système pour leur entière distribution d'eau.

Nous avons par suite établi la preuve que notre système de stérilisation de l'eau par les *Rayons Ultra-Violets* n'en est plus à la période expérimentale, mais qu'il est pratiquement mis au point, et prêt à être appliqué à une eau quelconque, à la seule condition qu'elle soit suffisamment claire, ou clarifiée par une filtration préalable.

La stérilisation de l'eau n'est, par suite, plus maintenant une simple expérience de laboratoire, ni une spéculation scientifique. Elle est devenue une possibilité pratique, et avec son entrée dans la sphère d'action des Ingénieurs sanitaires, une grande quantité de maladies épidémiques ne seront bientôt plus qu'un mauvais souvenir du passé.

DISCUSSION

sur les Rapports

de MM. De Andreis, Recklinghausen et Erlwein.

M. L. De Andreis (Milan). — *Après avoir mis en évidence toute l'importance du sujet dont ont traité les Communications de MM. Recklinghausen et Erlwein, il sera permis de demander à MM. les Rapporteurs quelques explications.*

M. le Dr. Erlwein a dit que les eaux destinées à la stérilisation soit par l'ozone, soit par les rayons ultra-violets, doivent être avant tout clarifiées, et qu'une telle clarification doit être plus ou moins parfaite suivant la qualité des eaux. Il rappelle à ce propos les essais très intéressants faits à Marseille sur les différents systèmes d'épuration des eaux; il note, en outre, que, dans ces essais, la stérilisation par le procédé des rayons ultra-violets était précédée d'une filtration avec le système Puech-Chabal, c'est-à-dire avec des dégrossisseurs, des préfiltres et des filtres à sable très fin, et non pas par une filtration sommaire, comme dans le cas cité par le Dr. Erlwein, avec le traitement par l'ozone.

Certains soutiennent qu'un système de filtration si complet, comme celui qui précède le traitement de l'eau par les rayons ultra-violets, est suffisant par lui-même à stériliser les eaux (système préconisé pour la ville d'Adria). Il y a donc lieu de demander au Dr. Recklinghausen si, à Marseille, les choses étaient vraiment comme il a été dit, ou bien si la filtration s'arrêtait aux dégrossisseurs, et cela pour arriver à ce degré de transparence nécessaire pour permettre l'action des rayons ultra-violets.

L'orateur se permet aussi de poser une autre question: Dans un Mémoire sur les rayons ultra-violets présenté à la Réunion du 1910 du Congrès de la Società per il progresso delle Scienze, *M. le docteur G. Rizzuti affirme que le pouvoir bactéricide des rayons ultra-violets est dû à la présence d'eau oxygénée et d'ozone se produisant sous l'influence de ces rayons. Il serait désirable d'avoir quelques détails à propos de cette affirmation par le Dr. Erlwein et le Dr. Recklinghausen, dont la compétence pour traiter une question si importante est bien reconnue.*

M. M. von Recklinghausen (Paris). — *Il faut toujours, aussi bien pour l'ozone que pour les rayons ultra-violets, que l'eau soit claire; c'est au filtreur de la produire d'une façon convenable, soit par des installations de filtres successifs (comme Puech et Chabal), soit par des filtres rapides à coagulants. Quant à l'économie de procédé des rayons ultra-violets il faut considérer que notre appareil ne présente qu'une perte de charge minime (30 à 50 centimètres d'eau), et qu'il n'exige pas toutes les machines auxiliaires qu'implique l'emploi de l'ozone pour assécher l'air, refouler celui-ci et soulever l'eau dans les émulseurs.*

Nous avons fait des expériences, prouvant que l'action bactéricide des rayons ultra-violets n'est pas due à la présence d'eau oxygénée ou d'ozone, mais à l'effet spécifique des rayons. La quantité d'eau oxygénée produite par les rayons est nulle pendant le court séjour de l'eau dans l'appareil; il faut exposer l'eau pendant des heures entières pour pouvoir déceler les premières traces d'eau oxygénée.

M. G. Erlwein (Berlin). — *Il n'est pas nécessaire, dans le procédé à l'ozone comme dans la méthode ultra-violette, de clarifier si soigneusement l'eau au préalable ni de la rendre absolument incolore, car l'action de l'ozone n'est que peu ou pas du tout influencée par de légers troubles ou une légère opalescence de l'eau, cette action ne souffre aucunement de la coloration jaunâtre produite par les substances humiques renfermées dans l'eau.*

Le traitement d'une eau de ce genre nécessite seulement une plus grande quantité d'ozone. Par contre, un léger trouble ou une légère coloration de l'eau diminue l'effet bactériologique du procédé ultra-violet ou le rend tout à fait problématique à cause de l'absorption des rayons lumineux.

En ce qui concerne la consommation d'énergie en watt-heures par mètre cube d'eau dans les deux procédés " Ozone „ et " Rayons ultra-violets „, celle-ci est, il est vrai, moindre pour les lampes de quartz que pour les appareils à ozone, mais cet avantage est neutralisé par l'usure très forte des lampes de quartz. On ne peut encore se faire une idée absolument exacte de l'importance de cette usure dans les grandes installations industrielles. M. le Dr. von Recklinghausen a donné le chiffre de 16 w.-h. par mètre cube d'eau comme consommation d'énergie, en citant le cas de Marseille, mais il convient d'objecter que, dans d'autres endroits, où les conditions locales relatives à l'épuration préalable et la qualité de l'eau brute ne sont pas si exceptionnellement bonnes, on doit compter sur 90 à 200 watt-heures. Quant à l'ozonisation, abstraction faite de la légère dépense supplémentaire d'énergie pour la compression de l'air dans les tours de stérilisation, on peut compter sur une consommation de 15 à

20 watt-heures pour la production de 1 gr. d'ozone, de sorte que pour de l'eau dont l'épuration nécessite de 1 à 2 gr. d'ozone suivant le degré d'épuration préalable, la dépense d'énergie sera de

$$20 \text{ ou de } 2 \times 20 = 40 \text{ watt-heures.}$$

Il y a lieu de remarquer, en outre, relativement à la méthode par l'ozone, comme point particulièrement avantageux, que lorsqu'on fait circuler l'air ozoné suivant un cycle fermé, l'effet stérilisant est assuré, même en cas d'eau brute filtrée au préalable d'une façon très imparfaite, par un excédent d'ozone économiquement négligeable.

Ainsi que M. le Dr. von Recklinghausen l'a déclaré, il n'est pas exact que les rayons ultra-violets engendrent dans l'eau des quantités actives d'ozone ou d'eau oxygénée.

M. le Dr. Erlwein réfute ensuite l'objection émise par M. le Dr. von Recklinghausen que, si les données de M. Andreis sont exactes, le projet de l'installation de Rovigo prévoit une consommation d'énergie en watt-heures par mètre cube beaucoup plus élevée que les chiffres indiqués par M. le Dr. Erlwein dans sa conférence. M. le Dr. Erlwein fait remarquer que l'installation de Rovigo a été prévue plus importante qu'il n'est besoin pour les ozoniseurs, parce qu'elle doit, en outre, livrer l'énergie nécessaire pour refouler l'eau dans le réservoir à distribution d'eau de la ville de Rovigo.

LA PRODUZIONE DIRETTA DELL'ACCIAIO DAI MINERALI

a mezzo dei forni elettrici.

Rapporto sul Tema N. 16 del Congresso.

Relatore Ing. REMO CATANI (Roma).

1. — L'*elettrosiderurgia* ritenta, dal principio di questo secolo, la soluzione del problema preistorico della produzione diretta del ferro e dell'acciaio dai minerali.

I forni elettrici adoperati per questa produzione rassomigliano, almeno per il modo di funzionare, ai forni proposti od esperimentati nella seconda metà del secolo scorso, in alcuni dei quali la riduzione avveniva per effetto di gas riducenti, sopratutto ossido di carbonio, come nei processi Chenot (1855), Blair (1870), Ponsard, ecc., oppure gas d'acqua (Bull), mentre in altri forni (Dupont, G. Siemens, Carbon Iron Company, ecc.) si mescolavano intimamente minerale, carbone, fondenti ridotti in polvere, si trattava la miscela in un forno a riverbero e la riduzione avveniva per l'azione sui minerali, prima del carbonio solido, poi dell'ossido di carbonio svolto da questa prima reazione.

Gli antichissimi forni adoperati per la riduzione diretta furono, invece, a vento, come il forno a crogiuolo adoperato dai Romani nelle regioni da loro conquistate, ricche di ferro (Etruria, Valle d'Aosta, Palatinato, ecc.), l'antico forno catalano, il forno catalano-americano (American Bloomery Process) ed altri.

2. — I processi diretti a carbone urtarono contro le due grandi difficoltà dei fortissimi consumi di minerale e di carbone.

Le Tabelle I e II riassumono alcuni dati (Ledebur) a questo proposito:

TABELLA I.

Ferro nelle scorie in alcuni processi diretti non elettrici.

Processi	Fe	FeO	Fe^2O^3
A) *Forni a vento:*			
Forno romano (Palatinato)	—	46,86	10,12
Catalano ed altri	1,20—3,68	39,87—49,74	4,93—11,17
B) *Forni senza vento:*			
Processo Siemens	—	46,95	—
	—	49,74	7,05

TABELLA II.

Consumo di combustibile per tonn. di prodotto in alcuni processi diretti non elettrici.

A) FORNI A VENTO.

Americani	2000	Kg. di carbone di legna
Indiani	2500	" " "
A crogiuolo . . .	2700	" " "
Catalani	3500	" " "

B) FORNI SENZA VENTO.

PROCESSI	Carbone fossile per il riscaldamento Kg.	Carbone di legna per la riduzione Kg.	TOTALE Kg.
Guglielmo Siemens	1650	425	2075
Andrea Chenot. .	630 ·/. 1725	320 — 1400	fino a 4000
Carbon Iron Co. .	1500	Coke 500 circa	2000

Già nei forni comuni senza vento, come poi nei processi elettrici, l'effetto puramente termico fu, quindi, separato da quello chimico della riduzione; ma, mentre nei primi forni i due effetti sono sempre prodotti dal carbone, nei forni elettrici l'effetto termico è dovuto alla corrente elettrica e resta il solo effetto chimico affidato al carbonio.

3. — L'adozione dei forni a reazione nella grande produzione dell'acciaio tracciò alla produzione diretta la seguente altra via, che fu prima seguita dalla comune siderurgia e poi dall'elettrosiderurgia: " ridurre i minerali di ferro in presenza di un altro prodotto siderurgico fabbricato nello stesso o in un altro forno ".

Si ebbero così i processi: Twynam (mattonelle di minerale, carbone e calcare gettate nel bagno di acciaio in un forno a reazione basica); Monell (ghisa fluida in eccesso proveniente dal mescolatore o dall'alto forno, gettata su una miscela di minerale e calcare, riscaldata sin quasi al punto di fusione in un forno a reazione basica); Lash (poca ghisa fredda granulata, minerali, fondenti e combustibile).

Questi ultimi processi non possono più chiamarsi di " pura e semplice fabbricazione diretta di acciai dai minerali ", sopratutto il processo Monell, che è una combinazione di un alto forno, di un mescolatore e di un forno a reazione o, quanto meno, dell'alto forno e del forno a reazione; li chiamerò *processi combinati.*

Si distinguono fra di loro per la quantità di ferro passato nel bagno di acciaio dai minerali caricati. Nel processo Monell, per esempio, può ottenersi, al massimo, che il 20 % del metallo prodotto provenga dal ferro dei minerali, mentre nel processo Lash questa percentuale può salire sino al 50 % circa.

I vantaggi dei processi combinati sui processi della Tabella II sono parecchi: possibilità di avere vero acciaio, mentre nei processi diretti, puri e semplici, si ha sempre un prodotto (spugna di ferro o masse) che richiede una lavorazione meccanica o una fusione; le perdite di ferro nelle scorie, i consumi di combustibile, le spese di mano d'opera, sono sensibilmente minori. I processi diretti combinati risultano più economici degli altri processi diretti, ma richiedono altri forni siderurgici e presentano ancora una notevole perdita di ferro, che, per es., nel processo Monell è del 15-20 %.

4. — Per quanto i processi diretti combinati non elettrici (Monell, Lash non elettrico, ecc.) e soprattutto il Monell, provvedano meglio ad un più intimo contatto fra il corpo da ridurre ed il carbonio, le operazioni, per avere acciaio nei processi diretti non elettrici, non sono sostanzialmente diverse da quelle per avere ghisa dall'alto forno: dei minerali allo stato solido sono ridotti, dal carbonio, in piccola parte allo stato solido, in maggior parte gazeificato in ossido di carbonio, e il metallo, così ridotto, fonde successivamente allo stato di ghisa o di acciaio o di ferro.

Questa osservazione spiega, forse da sola, il poco successo di tutte queste fabbricazioni rispetto al grande sviluppo dell'alto forno.

È noto, infatti, che tutti gli antichi processi diretti non sono riusciti, industrialmente parlando, e, se essi non riposano su principî tecnici diversi e migliori di quelli dell'alto forno, è evidente che dovessero essere sopraffatti da quest'ultimo apparecchio, che funziona in condizioni economiche così favorevoli per le sue fortissime produzioni, le qualità dei minerali e dei combustibili che esso può adoperare.

5. — Invece, il forno elettrico per la riduzione diretta in acciaio dei minerali offre condizioni tecniche sostanzialmente diverse da quelle degli altri processi diretti, e notevolmente migliori.

La prima comunicazione del 1892 del Moissan all'Accademia segna la separazione fra i processi diretti non elettrici ed elettrici. Anteriormente al 1892, ed anche di molti anni, si erano avuti studi e brevetti per la trattazione elettrica dei minerali, ma in essi si tratta di esperienze, più che altro, da laboratorio.

Il Moissan, come C. G. Siemens nel 1879, adottò un forno chiuso, di calce, ad elettrodi orizzontali, con massa sottostante, e, nella seduta del 12 dicembre 1892 dell'Accademia delle Scienze [1], fece la prima comunicazione circa i risultati delle sue ricerche sull'azione di un'alta temperatura sugli ossidi metallici. La massa da trattare era costituita da soli ossidi puri ed anidri ; gli elettrodi, orizzontali, erano sovrastanti di parecchi centimetri la massa da trattare, in modo da escludere qualunque azione riducente dei vapori di carbonio. Il Moissan verificò che

---

[1] Comptes-Rendus 1892, 2° semestre (T. CXV, N° 24).

gli ossidi della famiglia del ferro fondevano e cristallizzavano, che l'ossido ferrico fondeva rapidamente riducendosi a Fe^3O^4, il quale si combinava immediatamente alla calce formando un ossido doppio di calcio e ferro; l'ossido magnetico fondeva a 2250°.

Ad eccezione del passaggio di Fe^2O^3 ad Fe^3O^4, che già era stato dimostrato avvenire per effetto o della semplice azione del calore alla temperatura fra 1400° e 1500° (Tholander) e di CO a 450° (Ackermann), i risultati delle esperienze del Moissan erano nuovi e stabilirono, soprattutto, la fusione degli ossidi di ferro al forno elettrico e la combinazione di Fe^3O^4 con la calce.

6. — Nel crogiuolo di un forno elettrico possono quindi aversi degli ossidi di ferro fusi, e questo effetto termico può ottenersi, come è noto, con le correnti o continue o alternate. Nel caso dell'uso della corrente continua e di una disposizione nella polarità identica a quella adoperata nei forni ad alluminio (polo positivo in alto) sarebbe da attendersi la scissione degli ossidi di ferro con il conseguente sviluppo dell'ossigeno al polo positivo e deposito del ferro sul crogiuolo (polo negativo).

Questi fenomeni non sono stati sinora molto studiati, malgrado l'enorme loro interesse.

Arnou ha riferito recentemente di non aver riscontrato diversità sensibili nelle quantità e qualità del prodotto alimentando un forno con corrente alternata o continua e nemmeno invertendo i poli in quest'ultimo caso; altri elettrometallurgisti ritengono invece poter essere dannosa la corrente continua alla affinazione degli acciai per la possibilità di scissioni nelle scorie. In sostanza: si ammette nel primo caso e si esclude nel secondo la possibilità di un'azione elettrolitica.

7. — In un forno elettrico si può, però, non produrre la fusione degli ossidi, dimodochè possono aversi, nel forno elettrico, ossidi di ferro allo stato o solido o fuso. Invece, come è ben noto, l'agente riducente, il carbonio, può essere soltanto solido o gazeificato e, quindi, la principale riduzione al forno elettrico può avvenire in uno dei seguenti modi:

1° minerali solidi e C solido;
2° „ „ e C gazeificato (vapori di C, di CO, di CO^2);
3° „ fusi e C solido;
4° „ „ e C gazeificato.

I due primi modi, anche per le considerazioni dianzi svolte, sono comuni ai processi non elettrici di produzione diretta.

Il primo modo può avvenire solo mescolando intimamente piccole quantità di reagenti ridotti in polvere e, siccome la reazione sviluppa subito CO, è dubbio se questo modo si presenti nella pratica o, quanto meno, se si presenti solo oppure combinato con uno degli altri tre, specialmente col terzo; può avvenire in alcune zone di un forno elettrico da ghisa abbastanza alto od in qualche speciale tipo di forno elettrico per acciaio (Stassano).

La seconda reazione è quella che certamente avviene in quelle zone di un alto forno elettrico non sottoposte alle massime temperature.

Il terzo modo è più specialmente proprio dei forni elettrici ad elettrodi per la produzione diretta dell'acciaio dai minerali e sembra essere il miglior modo di riduzione elettrica per la produzione diretta dell'acciaio; esso si riscontra nei processi Harmet, Stassano, Chaplet-Néo Métallurgie, Lash (elettrico); potrebbe essere adoperato in un processo elettrico Monell...; avviene in parte anche negli alti forni elettrici, ecc., ecc.

Il quarto modo è stato proposto, come si vedrà in seguito, dal Ruthenburg.

8. — Tutti i processi diretti, elettrici o non elettrici, sono discontinui nel senso che la produzione è una serie di singole operazioni.

Nei forni produttori di ghisa, alti forni a carbone oppure elettrici, la produzione è continua. Il metallo fuso è quasi in immediato contatto con i minerali già in gran parte ridotti e si cola mentre il forno è pieno.

I gas svolgentisi dalle reazioni attraversano quindi, nei processi diretti, soltanto un piccolo strato di carica al principio di ogni operazione, mentre, verso la fine, si svolgono liberamente senza nessun effetto utile; nei forni da ghisa, elettrici e non elettrici, questi gas attraversano alti strati di molte cariche successive.

Al forno elettrico, il maggior componente dei gas, prodotti nelle reazioni, è l'ossido di carbonio, di cui è nota l'azione riducente alle diverse temperature quando venga in contatto, anche in determinate miscele con l'anidride carbonica, dei vari ossidi del ferro. L'ossido di carbonio incontra cariche non an-

cora ridotte soltanto nella produzione indiretta del ferro e dell'acciaio, e può solo in questo caso agire come riducente. Ne segue che il consumo di combustibile deve essere minore nei processi indiretti.

Le due riduzioni, diretta ed indiretta, mediante forni elettrici, possono rappresentarsi, quindi, con le equazioni seguenti:

Processi diretti.

1) $FeO + C = Fe + CO$
2) $Fe^3O^4 + 4C = 3Fe + 4CO$
3) $Fe^2O^3 + 3C = 2Fe + 3CO$.

Processi indiretti.

4) $5FeO + 4C = CO^2 + 3CO + 5Fe$
5) $5Fe^3O^4 + 16C = 4CO^2 + 12CO + 15Fe$
6) $16Fe^2O^3 + 39C = 9CO^2 + 30CO + 32Fe$

$\frac{CO}{CO^2} = 3$ (in volume)

La 4) e la 5) sono state dedotte con metodi analoghi a quello che già tenni in un mio precedente studio per ricavare la 6).

I consumi teorici di C fisso per Tonn. di ferro, calcolati dalle sei equazioni precedenti sono i seguenti:

TABELLA III.

Carbonio fisso per la produzione di una tonn. di ferro.

Ossido	Produzione		Maggior consumo di C della produzione diretta sull'indiretta	
	diretta Kg.	indiretta Kg.	Assoluta Kg.	Percentuale
FeO	214	171	43	25,1
Fe^3O^4	286	228	58	25,4
Fe^2O^3	321	261	60	23,0

Per il calcolo del peso del combustibile effettivamente necessario al forno elettrico per produrre una tonnellata di un prodotto metallurgico di una data percentuale in carbonio, occorre

tener conto del tenore in C fisso di tutte le sostanze carboniose consumate (combustibili della carica, elettrodi, idrocarburi, ecc.), del carbonio che deve essere contenuto nella ghisa od acciaio da produrre, e, per il caso dei processi indiretti, del rapporto $\frac{CO}{CO^2}$ (volumi).

Naturalmente perchè un processo industriale segua una o l'altra equazione di riduzione occorre soddisfare alcune determinate condizioni fisico-chimiche.

Neppure la divisione dei processi diretti e indiretti è praticamente assoluta: in alcuni processi diretti si ha sviluppo di CO^2 e quindi minor consumo di C di quello dato dalle 1), 2) e 3).

9. — Esaminate così le caratteristiche dei processi diretti comuni ed elettrici, confrontati i principî teorici comuni ai processi diretti e indiretti, si descriveranno ora i diversi forni e processi elettrici proposti per la fabbricazione dell'acciaio dai minerali; se ne daranno poi i risultati tecnici e, finalmente, si confronteranno i diversi processi dal punto di vista tecnico ed economico.

Alcuni processi tengono dell'uno o dell'altro processo proposto od usato anteriormente all'applicazione dell'elettricità alla siderurgia; altri, analogamente ai processi a carbone, sono processi combinati, più che processi puramente e semplicemente diretti.

10. — Le esperienze dello Stassano per avere acciai dai minerali, furono fatte prima a Roma nel 1898 e poi a Darfo.

Il primo tipo di forno elettrico adoperato a Roma era di 130 cavalli, e consisteva in un piccolo alto forno avente due elettrodi dove avrebbero dovuto mettersi gli ugelli; il secondo forno, impiantato a Darfo, era di 500 HP, esternamente rassomigliava ancora ad un alto forno, ma all'interno rassomigliava ad un comune forno a crogiuolo, sormontato da un piccolo alto forno; gli elettrodi corrispondevano al crogiuolo.

Lo Stassano, come già altri in processi non elettrici, per esempio G. Siemens, preparava la miscela facendo delle mattonelle compresse di polveri di minerale e di carbone impastate con catrame. Nelle prime esperienze, lo Stassano arrestava la carica, mediante una griglia, a 20 centimetri circa al disopra degli elettrodi; con tale dispositivo egli voleva avvicinarsi, con

il forno elettrico, più che fosse possibile, alle condizioni di funzionamento di un alto forno. Allo stesso modo, come in questo il piano degli ugelli separa la carica dalla ghisa fusa, così lo Stassano nel suo forno elettrico, superiormente ed inferiormente agli elettrodi, voleva avere carica e prodotto fuso. Ma, per il fatto stesso che un forno elettrico è assai diverso da un alto forno, ne doveva risultare l'inefficacia di quella disposizione. Lo Stassano, infatti, riferì: " Dopo dieci o dodici ore di continuo " funzionamento la vôlta esistente al disopra dell'arco finiva per " presentare uno strato di notevole grossezza, costituito da scorie " compatte e dure. In queste condizioni non potevo proseguire " e dovevo sospendere l'operazione „ (1).

I dianzi accennati risultati delle esperienze del Moissan autorizzano la ipotesi che la vôlta formatasi nel forno Stassano fosse costituita da un ossido doppio di calce e di ferro.

Lo Stassano portò, allora, la miscela sotto gli elettrodi, come appunto era negli esperimenti del Moissan, ed adottò il tipo dei forni a reazione. I primi forni Stassano di questo tipo furono, con uno o più paia di elettrodi, a camera rettangolare, a vôlta cilindrica, fissi; successivamente lo Stassano costrusse forni cilindrici, a due o più elettrodi, con vôlta a cupola, fissi o ruotanti, monofasi o polifasi; ma in tutti questi tipi il principio restò immutato: la massa sottostante agli elettrodi, gli archi elettrici scintillanti soltanto fra gli elettrodi senza toccar lo strato delle scorie galleggianti sul bagno, il calore generato dagli archi irradiato dalla vôlta nel bagno.

Il funzionamento di questi forni è quindi paragonabile a quello dei forni a reazione.

La posizione reciproca degli elettrodi e della massa da trattare è quella dei forni Siemens e Moissan.

11. — Enrico Harmet propose due processi diretti, ognuno composto di tre apparecchi.

Il 1° processo era basato sulla riduzione degli ossidi fusi mediante C solido e si componeva:

a) di un forno verticale, nel quale si caricavano gli ossidi e si fondevano con CO e con l'energia elettrica;

---

(1) STASSANO ERNESTO, *Processo termo-elettrico per la riduzione dei minerali di ferro,* " Rivista Artiglieria e Genio „, marzo 1902, pagg. 336-37.

b) di un forno elettrico ad elettrodi, ove venivano a raccogliersi gli ossidi fusi ed il coke proveniente da una torre verticale ripiena di coke;

c) di un forno elettrico da raffinazione, ove scolava il metallo appena ridotto ed ove si raffinava al punto voluto.

Il 2° processo consisteva nel ridurre ossidi fusi mediante C gazeificato e comprendeva:

a) in un forno verticale per calcinare i minerali;

b) in un forno elettrico verticale, ove erano introdotti i minerali calcinati ed il coke pur esso riscaldato: la fusione avveniva in basso, e la riduzione lungo il forno per effetto di una corrente di CO, che veniva preso alla bocca del forno ed iniettato in basso per mezzo di un ventilatore;

c) in un forno elettrico come nel 1° processo.

12. — Il forno elettrico Chaplet-Néo-Métallurgie per la produzione diretta dell'acciaio dai minerali è a suola conduttrice ed elettrodo verticale, la corrente traversa quindi la massa da trattare; è un forno coperto, fisso, oppure inclinabile all'atto della colata.

13. — Il Ruthenburg è il solo, almeno a quanto ne sappia io, che abbia esperimentato la riduzione degli ossidi fusi mediante gas riduttori, per esempio CO, gas illuminante, ecc., ecc.

Nel 1907 vidi funzionare a Londra un forno esperimentale Ruthenburg di 200 Kw. Il forno elettrico era a suola conduttrice; l'elettrodo, verticale, era forato al centro, ed attraverso questa specie di condotto si sarebbe dovuto iniettare, nel bagno degli ossidi fusi, l'agente riduttore, che nel caso dell'impianto esperimentale di Londra era, secondo quanto affermò il Ruthemburg, il gas illuminante della città.

Con questo processo, secondo l'inventore, si sarebbe potuto prescindere, nel produrre acciai, anche finissimi, dalla qualità del combustibile che potrebbe essere qualunque (legna, carbon fossile, coke metallurgico o da gas, lignite, torba, ecc., ecc.) e che dovrebbe bruciarsi in separati generatori. Evidentemente nel forno si sarebbero potuti introdurre, non soltanto i gas svolti bruciando in generatori questi combustibili, ma qualunque tipo di gas riducenti (gas naturale, di forni a coke, d'alto forno, proveniente da altri forni metallurgici svolgenti ossido di carbonio, gas illuminante, ecc.).

Durante la mia visita a Londra, il forno funzionò senza iniezione nel bagno di gas riducenti.

Ma il principale vantaggio del processo Ruthenburg sarebbe consistito nella piccolissima richiesta di forza: 1000 Kw-ora per tonnellata di acciaio prodotta dai minerali, ossia un'energia normalmente corrispondente alla produzione dell'acciaio dai rottami.

14. — Il processo elettrico Lash differisce da quello comune già accennato per l'alta percentuale di ferro del bagno proveniente dai minerali, la quale è giunta, in alcune esperienze, persino al 65 %. Il processo Lash può condursi in un qualunque tipo di forno elettrico ad elettrodi od anche, secondo il parere del Fitzgerald, in un forno elettrico ad induzione combinato (forni Roechling-Rodenhauser). Il processo Lash, quindi, è più relativo al modo di preparare la carica che al tipo del forno elettrico adoperato. Naturalmente sono da prevedersi migliori risultati quando si impieghino forni elettrici di massimo rendimento.

15. — Il processo Roechling-Rodenhauser, analogo al processo non elettrico Twynam, consiste nel trattare in un forno elettrico ad induzione combinato (forni Roechling-Rodenhauser) una miscela così composta:

Minerale al 50 % circa di Fe . .	=	Kg.	1500
Ghisa „ 94 % „ „ . .	=	„	250
Calce	=	„	120
Carbone di legna	=	„	140
La perdita teorica del ferro risulta	=	„	7,5 %.

Il processo è proposto per la produzione, specialmente, dell'acciaio dolce, ed il suo andamento è il seguente: in forno (per esempio da 6 tonn.) si lascia un residuo d'acciaio (2 tonn.) nel quale si carica il minerale, si aggiunge della ghisa per accelerare le reazioni; l'operazione dura in tutto 18 ore, dimodochè la produzione giornaliera è di tonn. 5 $^{1}/_{3}$.

I forni Roechling-Rodenhauser, largamente impiegati in elettrosiderurgia, sono ormai tanto noti da non richiedere speciali descrizioni; tuttavia essendo state, in questo rapporto, riassunte le speciali caratteristiche dei forni elettrici utilizzati nella produzione diretta degli acciai, si accennerà solo al principio fondamentale.

In un forno Roechling-Rodenhauser, monofase o polifase,

l'azione termo-elettrica nel bagno è svolta in parte da una corrente indotta, come nel secondario di un trasformatore, e in parte da una corrente immessa mediante blocchi di ghisa separati dal bagno dal rivestimento refrattario del forno. Nei forni Roechling-Rodenhauser mancano quindi gli elettrodi; il raffreddamento è fatto semplicemente ad aria; si adopera la corrente alternata monofase o polifase che si utilizza direttamente ad alta tensione.

16. — Tutti gli altri forni elettrici per l'affinazione dell'acciaio (Héroult, Keller, Girod, Gin, ecc.) potrebbero pure produrre acciaio dai minerali, ma, se pure sono state fatte esperienze in proposito, non si hanno sufficienti dati pubblicati per poter considerare questi forni fra i processi di produzione diretta dell'acciaio.

Risultati tecnici.

17. — Processo Stassano.

I. *Ematiti al 65 di ferro.* — I risultati degli esperimenti, pubblicati nel 1902, sono raggruppati nella Tabella IV.

Il forno elettrico era da 80 Kw.; il minerale adoperato dell'ottima ematite dell'Elba al 93 % di Fe^2O^3 (65 % di Fe metallico) ed al 2,8 di silice; il combustibile era " carbone di legna " con un tenore in ceneri del 3,88 %. Il minerale ed il combustibile, ridotti in polvere, erano agglomerati con del " brai ".

Tabella IV.

Operazioni	Acciaio prodotto Kg.	CONSUMI				
		Materie prime				Energia HP-ora
		Minerale Kg.	Calcare Kg.	Carbone Kg.	Brai Kg.	
A	26	43,3	5,4	7,0	5,2	156
B	22	35,1	2,4	5,6	4,3	156
C	22	40,4	5,0	6,5	4,9	148,7
D	24,8	39,7	4,9	6,3	4,8	122,7
E	30,8	49,8	6,3	8,0	6,0	132,2
	125,6	208,3	24,0	33,4	25,2	715,6

Il prodotto era dolce, e della seguente composizione media:

$$Fe = 99,7 \qquad C = 0,10 \qquad Mn = 0,10 \qquad Si = 0,10$$

ma non si sa se furono fatte prove meccaniche e, in caso affermativo, quali risultati esse abbiano dato.

Dalla Tabella IV si deduce che, se si fossero prodotti 1000 Kg. di acciaio, si sarebbero dovuti consumare:

Minerale . .	Kg.	1658
Calcare . . .	"	191
Carbone . .	"	265
Brai	"	200
Energia . . .	"	5698 HP. = 4187 Kw-ora.

La perdita in ferro era molto limitata, e la sua percentuale può calcolarsi così:

Ferro nel minerale = Kg. 165,8 × 0,93 × 0,7 =	Kg.	107,9
" " prodotto . . . . =	"	99,7
Perdita	Kg.	8,2

Il consumo degli elettrodi non è specificato nella pubblicazione dello Stassano, ma in un preventivo, riportato alla fine di questa, è fissato in Kg. 12 per tonn. di prodotto.

II. *Ematiti al 48 di ferro.* — Di queste seconde esperienze sono stati pubblicate dallo Stassano, nel 1908 (“ Giornale del Genio civile ”), le composizioni delle miscele, le analisi chimiche del minerale e del prodotto, il consumo dell'energia e due prove meccaniche (resistenza e allungamento). I consumi delle materie prime li ho calcolati in base:

1° alla perdita in ferro (8 %) dianzi calcolata ed al tenore in ferro del minerale (48,09 %);

2° alla composizione della miscela (minerale 100, calcare 35, carbone di legna 24).

I risultati di questi calcoli sono riportati alla seconda riga della Tabella V. Il forno era trifase da 147 Kw. (200 HP.).

Il minerale, molto impuro, era della seguente composizione:

$$Fe^2O^3 = 68,7 \quad Mn^3O^4 = 3,23 \quad SiO^2 = 17,15 \quad Mn^2O^3 = 2$$
$$CaO = 1 \quad MnO = 5,67 \quad Ph = 0,15 \quad S = 0,12.$$

Come conglomerante del minerale ridotto in polvere si adoperava una soluzione acquosa di silicato di soda al 25 %.

Del metallo ottenuto, soltanto di due cariche, si hanno dati abbastanza sufficienti a caratterizzarlo come qualità: esse sono le cariche 2) e 4) di cui al prospetto seguente:

Acciai direttamente prodotti dai minerali in un forno elettrico Stassano.

Cariche	Analisi chimica					Prove meccaniche		Coefficiente di qualità
	C	Mn	Si	Ph	S	Resistenza Kg/mm² R	Allungam.° % A	A × R
2	0,26	0,21	0,03	0,010	0,040	55	23	1265
4	0,80	0,30	0,22	0,015	0,045	86,3	13	1122

Nella seconda operazione si aggiunse ghisa ematite.

Le esperienze dello Stassano sono molto importanti per l'anteriorità che presentano rispetto agli altri sistemi, e per i risultati ottenuti anche quando si trattino minerali impuri (17 % di silice nella seconda serie di esperienze), ma non sembrano avere grande importanza industriale, non solo per la necessità della preparazione della carica, ma anche per la trascurabile produzione. Infatti, i primi esperimenti dettero in totale — Tabella IV — soltanto 125 Kg. di prodotto e, degli altri esperimenti, non ho trovato indicata la produzione totale, il che è, forse, grave indizio che essa sia stata parimenti limitatissima.

18. — Processo Chaplet-Néo-Métallurgie.

Con questo processo, sino a tutto il 1910, sono state fatte 15 tonnellate di acciai, dolci e duri, partendo da ematiti, magnetiti e sideriti, in mattonelle, in polvere od in pezzi ed adoperando come combustibile il carbone di legna, l'antracite ed il coke.

Il ferro passato va nelle scorie, è circa il 6 %, corrispondente all'8 % di FeO determinato dalle analisi delle scorie.

Le esperienze con i minerali ridotti in polvere — anche finissima — hanno dimostrato la possibilità di utilizzare al forno elettrico minerali polverulenti senza nessun agglomerante (ca-

trame, silicati, ecc.). I minerali erano molto ricchi e poco silicIosi ($SiO^2 = 0{,}60$ nella magnetite; 3,57 nell'ematite; 8,96 nelle sideriti). Degli acciai prodotti non si sono fatte le prove meccaniche. Per la qualità si deve quindi ricorrere alle analisi: si riportano le due che hanno dato il massimo ed il minimo tenore in C:

	C	M_n	S_i	S	P
Acciaio dolce	0,08	0,10	0,02	0,02	tracce
„ *duro*	1,25	0,25		0,016	

19. — Processo Lash.

Fino al maggio 1909 erano state prodotte, in un forno Héroult da 3 tonnellate, 50 tonn. di metallo con il processo Lash, mentre con l'applicazione dello stesso processo ai forni a reazione basici si sono prodotte delle centinaia di tonnellate di acciaio. Al forno elettrico si è giunti ad ottenere che il 36 % del ferro prodotto provenga dalla ghisa ed il 64 % dai minerali. Alla presenza della ghisa, che potrebbe ancora essere diminuita nella carica, si attribuisce un'azione acceleratrice delle riduzioni, e perciò una diminuzione nel consumo di energia per il passaggio del ferro dai minerali all'acciaio.

Un esame di tale vantaggio può farsi così: con il processo Lash occorrono 1630 Kw-ora per avere 1000 Kg. di acciaio, dei quali 640 provenienti dai minerali; per ogni tonnellata di ferro dai minerali occorrono quindi $1630 \frac{1000}{640} = 2547$ Kw-ore; ossia un consumo inferiore a quelli nei processi già esaminati, ma la diminuzione è da attribuirsi, forse in gran parte, alla notevole potenza del forno Héroult (400 Kw.), adoperato nel processo Lash rispetto a quello dei forni Stassano (80 e 147 Kw.) e dei forni Chaplet-Néo Métallurgie (120 Kw.).

La perdita di ferro, in alcune operazioni, è stata trovata di solo 2 %, ma nei preventivi è di circa il 5 %.

Gli elementi della miscela — minerali, coke e ghisa — debbono essere ridotti in polvere.

Per rendere porosa la materia ed accelerare, quindi, ancor più la reazione, possono aggiungersi catrame e segatura di legno.

La varietà e le qualità degli acciai prodotti con il processo Lash possono dedursi dal seguente quadro delle determinazioni eseguite su due acciai:

Acciai direttamente prodotti dai minerali in un forno elettrico Héroult da 3 tonnellate e secondo il processo Lash.

Colate	Analisi chimica					Prove meccaniche				Coefficiente di qualità A × R
	C	Mn	Si	P	S	Resistenza R	Limite elast. E	Allungamen. A %	Contrazione	
9	0,10	0,75	0,02	0,015	0,07	40	24	33	58	1340
27	0,22	0,94	0,03	0,033	0,056	54,18	31,5	28	56	1512

20. — PROCESSO ROECHLING-RODENHAUSER.

Nell'acciaio prodotto, il 76,5 % di ferro proviene dai minerali e soltanto il 23,5 % dalla ghisa. È il processo combinato che, da questo punto di vista, più si avvicina a processi diretti puri e semplici.

L'energia per 1000 Kg. di ferro passati dai minerali nell'acciaio si può calcolare, secondo gli inventori, nel modo seguente:

Per ottenere 1000 Kg. di prodotto occorrono per le riduzioni	Kw-ore 2480
Per mantenere fuso il residuo ($^1/_3$ di tonn. circa della carica precedente) circa . .	„ 220
	Kw-ore 2700

Ora, siccome in 1000 di acciaio soltanto 765 provengono dai minerali, per Kg. 1000 di Fe passati dai minerali nell'acciaio occorrono $2700 \frac{1000}{765} = 3530$ Kw-ore, ossia una energia sensibilmente superiore a quella necessaria nel processo Lash.

Del processo Roechling-Rodenhauser non mi sono noti parecchi dati necessari per giudicare della sua importanza industriale, quali sarebbero, per esempio, il tonnellaggio totale, le analisi ed i risultati delle prove meccaniche dell'acciaio prodotto, la perdita in ferro, ecc., ecc.

TABELLA V.

Processi elettrici per la produzione diretta dell'acciaio dai minerali. Peso 1000 Kg. di prodotto.

PROCESSI	MATERIE PRIME								Elettrodi	Energia Kw-ore	Ferro nel minerale	Perdita di ferro %
	Minerali			Combustibili			Fondenti					
	Titolo in ferro %	Qualità	Quantità Kg.	Titolo in C %	Qualità: Antracite Kg.	Qualità: Carb. legna Kg.	Calcare Kg.	Calce Kg.	Kg.			
Stassano - Forno da 80 kw.	65	Ematiti	1660	90.42 59.20	—	265 Brai 200	191	—	12	4187	1079	7.9
„ „ „ 147 „	48	„	2280	—	—	547.2	798	—	12	4250	1094.4	9.44
Chaplet - Néo Métallurgie - Forno da 120 kw.	67	Magnetiti	1600	88	—	310	—	80	35	3000	1072	7.2
	„	„	„	83.2	260	—	—	80	„	3160	„	„
	66	Ematiti	„	88	—	360	—	80	„	3870	1055	5.5
	„	„	„	83.2	271	—	—	80	„	3160	„	„
	39	Sideriti naturali	—	„	—	—	—	—	—	4140	—	—
Lash - Forno da 3 tonn.	65	Minerali	1030	—	Coke 195	Catr. 40	60	—	25	1630	1056.1	5.61
750 H.P = 400 kw.	95	Ghisa	407	—	—	—	—	—	—	—		
Roechling - Rodenhauser	56	Ematiti	1500	—	—	140	—	120	—	2700	—	—
	94	Ghisa	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—

21. — Nella Tabella V sono stati raccolti i consumi, pubblicati o calcolati, delle materie prime e della energia per tonnellata di prodotto per i processi dianzi accennati.

Per ogni processo le qualità e le quantità del metallo sono quelle riportate nei paragrafi precedenti.

Il consumo degli elettrodi è minimo nel caso del forno Stassano, ma è da rammentare che esso, come già si è detto, non risulta dagli esperimenti fatti, ma è desunto da un preventivo.

Per quanto il modo di funzionare del forno Stassano possa avvalorare la ipotesi di un consumo ridotto, i dati della Tabella V giustificano il timore che il consumo di 12 Kg. per tonnellata di prodotto sia troppo basso. Potrebbe avere qualche fondamento nel modo, puramente teorico ed arbitrario, tenuto da alcuni nel calcolare il consumo di elettrodi come differenza fra i pesi degli elettrodi prima e dopo una singola operazione, ma il consumo commerciale vero è il peso degli elettrodi bruciati o resi inutili per una serie di fusioni (compresi quindi gli elettrodi rotti o le loro parti restate attaccate ai porta-elettrodi e non utilizzabili).

A questi rottami di elettrodi è da attribuirsi un valore, anche elevato, come combustibile finissimo, ma sono da considerarsi nel consumo di un qualunque prodotto al forno elettrico.

Il consumo di 12 Kg. dello Stassano dovrebbe essere, per lo meno, raddoppiato; ma nel confronto economico che segue si manterrà la cifra di Kg. 12.

Nella Tabella V, e per i primi tre processi, si sarebbe dovuto comprendere anche il consumo dell'acqua di raffreddamento, perchè — come è noto — tutti i forni elettrici ad elettrodi sono raffreddati ad acqua, ma si hanno dei dati soltanto per il forno Stassano e per la seconda serie delle sue esperienze. In queste il forno era trifase di 200 HP = 147 Kw. e, secondo i dati comunicati dallo stesso Stassano al VI Congresso di Chimica applicata, consumava 40 mc. di acqua nelle 24 ore; in base al consumo di 4250 Kw-ore per tonn. di prodotto, il consumo d'acqua risultava di

$$\frac{40}{24} \times \frac{4250}{147} = \text{mc. } 48{,}7 \text{ per tonn. di prodotto.}$$

In cifra rotonda, può ritenersi 50 mc., perchè durante la carica e la colata, come afferma lo Stassano, si toglie corrente al forno,



mentre è necessario lasciare il raffreddamento. Nei forni Chaplet-Néo Métallurgie raffreddati ad acqua, il consumo non può essere minore che nel forno Stassano. Dev'essere invece minore nel forno Héroult, nel quale le parti raffreddate ad acqua sono pochissime.

Per forni di minore e maggiore potenza di 200 HP, il consumo d'acqua deve essere rispettivamente maggiore e minore di quello ora calcolato; a parità di potenza un forno monofase consumerà meno di un forno trifase, ma non nel rapporto da 2 a 3 come ammette lo Stassano. Comunque, può concludersi che il consumo d'acqua, nei forni elettrici ad elettrodi, è notevole, può anche essere notevolissimo, e che esso introduce nel prezzo di costo dell'acciaio una quota che è sempre apprezzabile.

22. — Il confronto della Tabella V con le Tabelle I e II e l'esame dei dati sugli acciai elettrici direttamente prodotti, dànno il valore dei processi diretti elettrici rispetto ai processi non elettrici. Quelli presentano su questi i seguenti principali vantaggi:

1° Notevole minor perdita di ferro;

2° Notevole minor consumo del carbone necessario per la riduzione;

3° Perfetta fluidità del prodotto, mentre negli antichi processi diretti si otteneva soltanto delle spugne o delle masse di ferro;

4° Maggior purezza del prodotto.

Forse al forno elettrico sarà anche industrialmente possibile l'uso di minerali poveri (seconda serie delle esperienze dello Stassano) e di combustibili economici, coke e antracite (alcune esperienze Chaplet-Néo Métallurgie), ma contro queste conclusioni sta il fatto, che si rileva anche dalla Tabella V, del prevalente uso del carbone di legna e dei minerali ricchi, come negli antichissimi processi diretti non elettrici.

Resta a vedersi se il forno elettrico, pur essendo il migliore apparecchio per la produzione diretta dell'acciaio dai minerali, abbia un valore economico anche rispetto ai processi indiretti, siano essi elettrici oppur no.

23. — L'indole del presente Rapporto non permette neppure un rapido riassunto dei processi indiretti, elettrici e non elettrici, e, d'altra parte, il costo della tonnellata di acciaio ottenuta

con questi processi è ormai abbastanza bene precisato, sopratutto nel caso dell'alto forno a carbone, cosicchè un confronto economico fra processi diretto ed indiretto può farsi determinando il costo di una tonnellata di acciaio in base ai consumi della Tabella V ed a determinati prezzi unitari.

Questa determinazione, che in molti preventivi è fatta in un modo del tutto arbitrario, è assai difficile, dipendendo da molti speciali fattori e non può essere fatta che come grande media e per un determinato paese. Per l'Italia, e per i processi dianzi discussi, dei quali si hanno i dati approssimativi di esercizio, si è compilata la Tabella VI, deducendo i prezzi unitari dalle pubblicazioni ufficiali italiane; così, per esempio, quelli del carbone di legna e della ghisa, del silicato di sodio e del carburo di calcio sono le medie dei valori delle importazioni nell'ultimo triennio (1908-1910); quelli della calce, del brai, dell'antracite e del coke sono stati dedotti dall'ultima pubblicazione del " Servizio Minerario ". Calcolando a questo modo i prezzi unitari, si è creduto togliere qualunque arbitrarietà e di mettersi nelle condizioni di una grande industria elettro-siderurgica. In queste stesse condizioni è calcolata la spesa per l'energia: *per prezzo minimo attuale per grandi impianti dell'energia elettrica si è assunto quello di L. 64 per Kw-anno, misurato, come deve esserlo, al forno elettrico*, ed il numero delle ore produttive all'anno è stato stabilito in 8000 (333 giorni).

Si ha allora:

Valore del	Kw-anno	al forno	elettrico	= L. 64	
"	HP-anno	"	"	= " 47,4	
"	Kw-ora	"	"	= centesimi	0,8
"	HP-ora	"	"	= "	0,588.

Le quote delle manutenzioni e della mano d'opera sono come ai preventivi degli interessati nei singoli processi. La minima quota di manutenzione è relativa al forno Chaplet-Néo Métallurgie, ma essa è talmente bassa, più bassa di quella comunemente ammessa per i forni a reazione, da far temere assai della sua precisione, almeno nei limiti delle esperienze fatte. Ritengo dovrebbe essere quadruplicata. Per l'acqua di raffreddamento e per quanto si è detto alla fine del paragrafo 21, si è messa una stessa quota di L. 1 per i forni Stassano e Néo Métallurgie, mentre si è messa una quota metà per il processo Lash (forno

TABELLA VI.

Costo di una tonnellata di lingotti di acciaio prodotta al forno elettrico direttamente dai minerali.

	Prezzo per Tonnellata	PROCESSI					
		Stassano Ematite		Chaplet-Néo Métallurgie		Lash	Roechling-Rodenhauser
		Fe=65%	Fe=48%	Magnetite Carb. legna	Ematite Antracite		
Minerali al 65 % .	15	24.9	—	24	24	15.45	—
" " 56 % .	13	—	—	—	—	—	13
" " 48 % .	10	—	22.8	—	—	—	—
Carbone di legna .	70	18.55	38.30	21.70	—	—	—
Antracite . . .	30	—	—	—	8.15	—	—
Brai	60	12	—	—	—	2.40	9.80
Coke	35	—	—	—	—	6.85	—
Elettrodi	400	4.80	4.80	14	14	10	—
Calcare	10	1.90	8	—	—	0.60	—
Calce	16	—	—	1.30	1.30	0.50	1.90
Ghisa	92	—	—	—	—	37.45	23
Silicato di soda .	90	—	16.38	—	—	—	—
Carburo di calcio .	295	—	33.63	—	—	—	—
Energia	0,8 kw-ora	33.50	34	24	25.30	13	21.60
Manutenzioni . .	—	12	12	2.50	2.50	4.50	8.50
Mano d'opera . .	—	6	6	10	10	5	6.30
Aggiunte	—	2	2	2	2	2	2
Attrezzi, macchinario, luce, ecc. .	—	2	2	2	2	2	2
Lingottiere, piastre, ecc.	—	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Raffreddamento ad acqua	—	1	1	1	1	0.50	—
Raffreddamento ad aria	—	—	—	—	—	—	0.55
		121.15	183.41	105	92.75	104.75	91.15

Héroult). Per i forni a induzione combinati (Roechling-Rodenhauser) il raffreddamento è fatto semplicemente ad aria, e la spesa è relativa al consumo di energia per il ventilatore; per il forno da 6 tonn. considerato, il ventilatore assorbe 68 Kw-ore, corrispondenti a L. 0,544.

24. — Alcuni prezzi finali della Tabella VI, malgrado non comprendano spese generali, ammortamenti, ecc., sono già superiori a molti degli attuali prezzi di costo dell'acciaio prodotto con l'alto forno ed il forno a reazione. Alcuni esperimentatori, nei loro preventivi tecnici od economici, tengono conto del valore dei gas svolgentisi dal forno, ma, se si adotta questo criterio, si deve anche tener conto del valore teorico dei gas degli alti forni, dei forni a coke e dei forni d'acciaio nei processi indiretti.

Meglio, per ora, trascurare questi beneficî, tanto nella produzione diretta quanto nell'indiretta, anche perchè, per fare una giusta valutazione delle economie, occorrerebbe attendere i risultati finanziari di una completa, razionale ed economica utilizzazione di tutti i gas dei forni metallurgici, elettrici e non elettrici, utilizzazione che non ho ancora avuto occasione di riscontrare neppure nei più progrediti stabilimenti siderurgici stranieri.

Harmet, nei preventivi inseriti nel Rapporto della Commissione Canadese del 1904, calcolava di poter ottenere con i suoi due processi, di cui si è trattato precedentemente, sul processo Martin-Siemens, le seguenti economie: con il 1° processo L. 13,26 per tonn., con il 2° processo L. 21,80 nel caso che tutto il C fosse ridotto a CO e L. 16,75 nel caso che si avesse invece $\frac{CO^2}{CO} = 1,25$.

Stassano, nel preventivo con il quale termina la sua già citata pubblicazione del 1902, diminuisce il costo, risultante in L. 112, di una tonnellata di acciaio di L. 18, corrispondenti a 900 mc. di ossido di carbonio e idrocarburi del catrame valutati a 2 cent. per mc.

25. — Il vantaggio economico della produzione non elettrica dell'acciaio dipende essenzialmente dal continuo incremento della produzione della ghisa, che, negli ultimi decenni, è divenuta enorme: ho trovato che la produzione annuale della ghisa, a partire dal 1800, nel quale anno si produssero soltanto 800.000 ton-

nellate di ghisa, e giungendo sino al 1910, nel quale se ne produssero 60 milioni di tonnellate, segue quasi esattamente la seguente equazione di parabola cubica: $y = 0{,}8 + 0{,}04\,x^3$, nella quale y è la produzione annuale di ghisa in milioni di tonnellate, x il numero dei decenni a partire dal 1800.

In queste condizioni, l'alto forno, come fattore della produzione diretta dell'acciaio, è un tale formidabile concorrente del forno elettrico, come produttore diretto dell'acciaio, da far temere che per molti anni ancora la vittoria arriderà al vecchio e ancora perfezionabile apparecchio.

26. — La produzione diretta dell'acciaio dai minerali potrebbe essere adottata se si potessero ottenere dal forno elettrico acciai specialissimi, non possibili con gli antichi sistemi. Ma lo stato attuale degli studi e degli esperimenti non permettono alcuna previsione al riguardo: mancano relazioni di studi micrografici, accurati confronti fra analisi chimiche e proprietà meccaniche. Forse gli acciai elettrici, direttamente prodotti dai minerali, presentano le speciali proprietà degli acciai raffinati in forni elettrici, quali: migliori qualità meccaniche a parità di composizione chimica e, soprattutto, maggior resistenza all'urto; maggior facilità di saldatura e di tempera; ma non so di esperienze istituite per provare queste ipotesi.

Analogamente non so di ricerche micrografiche per determinare in quale stato si trovi il carbonio nell'acciaio prodotto al forno elettrico direttamente dai minerali, soprattutto in relazione alla prevalenza degli acidi e delle basi nei minerali.

Conclusioni.

Lo stato attuale della produzione diretta dell'acciaio dai minerali mediante il forno elettrico può, quindi, riassumersi così:

1° I forni elettrici adoperati sono tutti a solo effetto termico senza verun effetto elettrolitico;

2° I forni elettrici adoperati sono di una potenzialità assai minore di quella dei moderni forni per la produzione della ghisa o l'affinazione dell'acciaio, siano essi elettrici, oppur no;

3° Il tonnellaggio totale prodotto è assai limitato, assolutamente trascurabile rispetto a quello raggiunto dagli ordinari processi per acciaio;

4° La produzione diretta elettrica è molto più conveniente di quella non elettrica;

5° La qualità dell'acciaio prodotto è buona, specialmente per gli acciai duri;

6° Non sembra economicamente conveniente la produzione diretta al forno elettrico rispetto a quella compiuta in due o tre forni con l'esclusione della elettricità, oppure con l'adozione di essa in tutti o in alcuni forni.

RÉSUMÉ

Les anciens procédés, non électriques, peuvent se grouper en deux classes; les procédés simples et les procédés combinés. Les uns tiraient le métal des minerais seulement, les autres réduisaient les minerais dans un bain d'autres produits sidérurgiques.

Les premiers procédés conduisaient à une grande consommation de combustible et à une forte perte de fer; les autres produisaient un métal dont une partie seulement venait du fer des minerais.

Les fours électriques donnent des résultats bien supérieurs. Ils utilisent seulement l'effect thermique du courant, mais l'action électrolytique du courant dans un bain de minerai de fer fondu est à étudier. On peut, eux aussi, les classer en fours simples et en fours combinés.

Les procédés directs emploient plus de charbon que les procédés indirects (hauts fourneaux électriques).

Les principaux procédés directs électriques expérimentés ou proposés sont ceux de Stassano (1898), Harmet (1904), Chaplet-Néo-Métallurgie (1909), Lash (1908), Roechling-Rodenhauser (1910); on n'a toutefois de résultats pratiques que pour les procédés Stassano, Chaplet-Néo-Métallurgie, Lash et Roechling-Rodenhauser.

L'importance industrielle de ces quatre procédés est bien différente. Pour l'analyser on a groupé dans une Table les consommations de matières premières et d'énergie relatives à la production d'une tonne de métal: ces valeurs sont calculées d'après les communications des

inventeurs; ces chiffres sont discutés et, dans une autre Table, ont été groupés les prix de revient calculés d'après les données de la Table précédente, et les prix des matières tels qu'ils résultent des publications officielles italiennes.

Les conclusions du Rapport sont les suivantes:

1. Les fours électriques employés pour la réduction directe des minerais de fer utilisent seulement l'effect thermique du courant électrique.

2. Les fours électriques employés pour la réduction directe sont d'une puissance très réduite comparativement à celle des fours actuels — électriques ou non électriques — employés pour la production de la fonte ou l'affinage de l'acier.

3. Le tonnage total d'acier produit est assez bas et négligeable, comparativement à celui des autres procédés de production de l'acier.

4. La production directe électrique est plus appréciable que par les procédés non électriques.

5. La qualité des aciers, surtout des aciers durs, produits directement au four électrique, est satisfaisante.

6. Il ne paraît pas que la production directe de l'acier au four électrique soit plus économique que la production au moyen de deux ou trois fours sans l'intervention de l'électricité, ou à l'aide de l'électricité employée dans tous les fours ou dans l'un d'eux seulement.

DISCUSSION

Le Président remercie M. Catani, Rapporteur, et déclare que la discussion est ouverte sur le thème exposé.

M. PAUL SÉJOURNET (Froges-France). *L'intéressante communication de M. Remo Catani me paraît bien résumer la situation actuelle de la question, telle qu'elle ressort des publications faites à ce jour. Je dois toutefois faire une réserve sur les conclusions du mémoire.*

La possibilité de faire de l'acier directement, en partant du minerai, dépend naturellement des conditions économiques où l'on se trouve, telles que:

prix du combustible (coke),
prix de l'énergie électrique,
nombre de kilowatts-heures nécessaires pour produire une tonne de métal,
prix du minerai, richesse du minerai,
amortissement des installations, frais divers de fabrication, etc.

En l'état actuel, j'estime qu'il existe déjà des cas où il est non seulement possible, mais justifié de donner la préférence au mode de fabrication directe de l'acier en partant du minerai.

Des expériences non publiées de M. le Dr. Héroult, Ingénieur Conseil de notre Société (Société Electro-métallurgique Française de Froges), ont donné, sur un four Héroult de 6 tonnes de capacité, absorbant une puissance de 736 kilowatts, des consommations descendant jusqu'à 2450 kilowatts-heures par tonne, dans certains essais, avec moins de 300 kilos de coke par tonne. C'est une indication déjà intéressante, bien qu'il s'agisse d'un four qui n'est pas d'une capacité bien considérable; mais c'est, je crois, le plus grand, ou tout au moins l'un des plus grands sur lesquels on ait essayé la réduction directe. En envisageant une consommation de cet ordre, ou même un peu supérieure, il est possible raisonnablement de conclure, pour les cas où les autres conditions s'y prêtent, qu'on peut fabriquer directement l'acier en partant du minerai, par les procédés Héroult.

Il n'est peut-être pas inutile de dire un mot des limites que permet-

tent d'entrevoir, pour le moment, les études en cours. Il ne s'agit ici que de prévisions d'un caractère encore hypothétique; mais je crois qu'il sera possible d'arriver à produire l'acier directement, dans un avenir qui n'est peut-être pas très éloigné, avec une dépense de 1800 à 2000 kilowatts-heures par tonne. Il y aura probablement aussi moyen de réduire la consommation de charbon.

Quant à la possibilité de fabriquer de l'acier doux en partant du minerai, par le procédé direct, elle est hors de doute, au moins en ce qui concerne les procédés Héroult. Les expériences de M. le Dr. Héroult l'ont très nettement démontré.

M. Ragno (Naples) *trouve très justes les conclusions de M. Catani; il aurait toutefois désiré qu'il eût été plus nettement établi qu'en l'état actuel de la technique sidérurgique, le four électrique doit être et scientifiquement et industriellement étudié comme organe de fabrication indirecte plutôt que comme appareil de fabrication directe. Il corrobore son opinion en se rapportant à ce qui se fait aux usines Cokerill au moyen d'un four Girod et aux usines Krupp avec un four Frick.*

Il est d'opinion que, quelque considérable que puisse devenir l'importance du four électrique dans les opérations de la sidérurgie, il faudra toujours procéder à une séparation préliminaire de la fonte de son minerai, et cela, très probablement au moyen de fours à arc, afin d'obtenir d'abord des scories bien liquéfiées et achever ensuite par l'affinage au four à induction.

Aujourd'hui, le four électrique peut décidément remplacer le four à creuset pour les aciers de qualité fine; en quelques cas très limités, il peut même entrer en compétition avec le Martin-Siemens.

L'électrosidérurgie doit tendre désormais à rendre industriellement possible le four électrique, conquérir avec lui les petites fonderies d'acier, et supplanter le petit convertisseur.

Quant à affirmer qu'on puisse spécialement produire des aciers dûrs avec les procédés électriques directs, il estime que les données manquent encore pour appuyer une telle opinion.

M. Catani eût été heureux de pouvoir enrichir son rapport d'un résumé des expériences de M. le Dr. Héroult que M. Séjournet vient de faire connaître; malheureusement elles n'ont encore été publiées nulle part. Le four de 1000 chevaux dont M. Héroult s'est servi est certainement celui qu'on a employé encore les plus souvent pour la fabrication directe de l'acier en partant du minerai. Il serait d'une grande utilité de pouvoir réunir toutes les données de ces expériences afin d'avoir les idées bien fixées sur l'importance commerciale du procédé; il serait surtout important de connaître le taux de l'usure du revêtement ré-

fractaire du four. La consommation d'énergie de 2450 kw.-heures, requise par le four Héroult, correspond parfaitement avec les consommations citées dans le rapport officiel; mais il est permis de mettre en doute qu'on n'arrive jamais à descendre au-dessous de 2000 kw.-heures.

M. R. Catani (Rome) *répondant à M. Ragno, fait observer que le titre du thème et les conditions établies par la Commission d'organisation du Congrès ne lui ont pas permis d'indiquer spécifiquement à quelles opérations sidérurgiques il peut convenir d'appliquer un type de four électrique plutôt qu'un autre; le Rapport devait se borner à l'exposé de l'état actuel de la production directe de l'acier en partant du minerai. Il est désormais certain que, dans la production des aciers fins, il est avantageux de substituer aux creusets le four électrique, et spécialement le four à induction ou à induction combinée.*

Quant à la qualité du produit obtenu par le traitement direct au four électrique, en partant du minerai, le Rapporteur rappelle qu'il a cité toutes les analyses des aciers obtenus par ces procédés, même ceux des aciers doux. L'opinion exprimée sur la plus grande facilité de production des aciers durs n'est pas seulement basée sur l'ensemble des résultats obtenus jusqu'à ce jour, mais encore sur certaines expériences concluantes exécutées en sa présence.

M. G. Tofani (Rome) *partage l'opinion de M. Ragno que le meilleur four d'affinage de l'acier liquide est le four à induction, étant naturellement considéré dans son sens général le plus large, c'est-à-dire qu'il s'agisse de four à induction pure et simple (euroulement du primaire à noyau ou à disque) ou de fours combinés du type Roechling-Rodenhauser. Ces derniers présentent cependant des avantages techniques, entre autres et surtout, la possibilité d'obtenir, à parité de fréquence et d'énergie absorbée, des valeurs plus élevées pour le facteur de puissance.*

M. S. Guggenheim (Zürich) *déclare qu'il est d'accord avec M. Tofani sur les avantages qu'offrent les fours électriques à induction combinée sur les fours à induction pure et simple. Dans le mémoire qu'il a présenté à la Section, il a essayé de déterminer les raisons électrotechniques de l'abaissement du facteur de puissance sous l'influence de la fréquence du primaire dans un four à induction. De même, dans un travail qui a été publié dans la* Schweizerische Bauzeitung *(9 septembre 1911) il a étudié le phénomène de l'étranglement du bain dans les fours à induction simple.*

M. R. Catani (Rome) *croit devoir confirmer sa déclaration précédente sur les limites imposées à son Rapport par le titre du thème et par les prescriptions de la Commission.*

Les avantages présentés par les fours à induction combinée du type

Roechling-Rodenhauser ont permis de les employer à la production directe de l'acier en partant du minerai; le Rapport lu précédemment énumère les résultats déjà obtenus, et ceux que les inventeurs se flattent d'obtenir encore avec les fours électriques de ce genre. C'est d'un procédé de réduction combinée qu'il s'agit, et non d'une réduction directe du minerai en acier obtenue par une opération unique. Il serait plus avantageux, sans doute, de partir d'une charge liquéfiée, mais, même en partant de la fonte, le procédé Roechling-Rodenhauser peut l'emporter sur les autres au point de vue de l'économie; le Tableau VI du Rapport le démontre.

Les avantages du four électrique combiné peuvent être résumés comme suit :

1° Mouvements spontanés du bain qui permettent d'obtenir un acier très homogène sans recourir à des dispositifs mécaniques quelconques pour agiter le bain;

2° Possibilité de construire des fours d'une grande contenance par suite de l'élimination de l'obligation de subordonner les dimensions du four aux dimensions des électrodes;

3° Elimination totale des frais d'usure des électrodes et de l'eau de refroidissement;

4° Possibilité de surveiller à tout instant la surface du bain métallique, condition impossible dans certains types de fours électriques où la voûte est toute d'une pièce et fixe, ou bien encore, constituée par un couvercle énorme peu ou point facile à déplacer;

5° Possibilité d'utiliser directement les courants alternatifs à toutes les tensions.

Die elektrischen Verhältnisse bei den wichtigsten Induktionsöfen der Stahlindustrie.

Dr. Sigm. Guggenheim (Zürich).

Obschon seit der Einführung der elektrischen Schmelzöfen in die Stahlindustrie kaum 10 Jahre verflossen sind, hat die Erschmelzung von Stahl im elektrischen Ofen doch schon einen hohen Grad von Vollkommenheit erlangt. Das Versuchsstadium ist längst überschritten. Der Elektrostahl wird bereits in grossen Mengen produziert, und man ist schon auf dem Punkte angelangt, wo sich der Ingenieur bemüht, dem elektrischen Ofen die letzten Merkmale anzugliedern, die ihn noch vom Höhepunkt seiner Leistungsfähigkeit trennen.

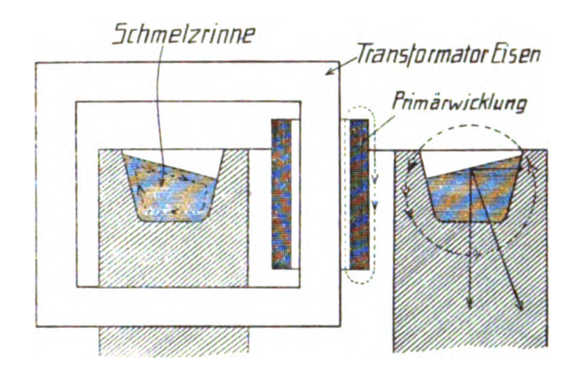
Bekanntlich unterscheidet man zwei Haupttypen elektrischer Oefen: Den Lichtbogen-Ofen und den Induktions-Ofen.

Der Lichtbogen-Ofen, in seinen Hauptformen von Stassano, Héroult und Girod, stellt die ursprüngliche Lösung des Problems der elektrischen Stahlschmelzung dar. Schon vor mehr als 50 Jahren wurde der Vorschlag zur Schmelzung von Eisen mit Hilfe des Lichtbogens gemacht, und die Ausführung eines derartigen Ofens scheiterte nur an der Unvollkommenheit der damaligen Elektrotechnik.

Der Induktions-Ofen, in seinen Hauptformen von Kjellin und Roechling-Rodenhauser ist naturgemäss ein neueres Produkt, da die Verwertung der Induktionserscheinungen in der Elektrotechnik lange nicht so weit zurückliegt, als die des Lichtbogens.

Betrachtet man nun die Schwierigkeiten, die dem elektrischen Ofen gleich beim Beginn seiner Praxis entgegentraten, so muss

man sagen, dass dieselben zum grössten Teil metallurgischer und giessereitechnischer Natur waren. Zuerst war es die Durchführung einer ausgiebigen Raffination des Rohmaterials, der sich Hindernisse entgegenstellten. Im weitern war es und ist es



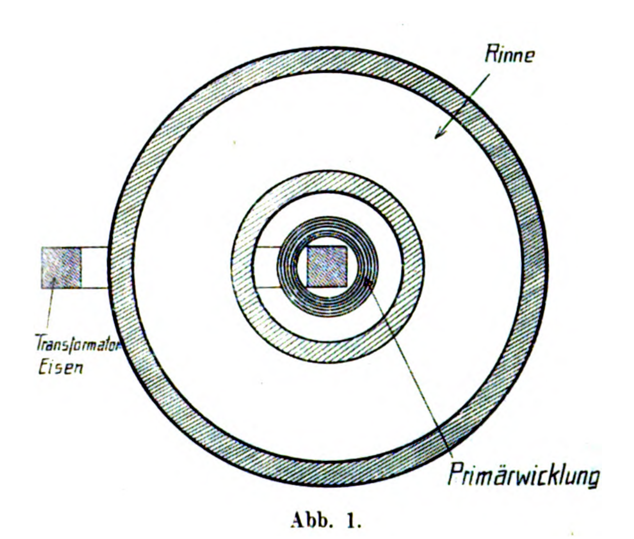


Abb. 1.

heute noch keine einfache Sache, einen möglichst dauerhaften Ofen zu erstellen, bei dem die Reparaturen auf ein Minimum beschränkt sind. Die Wahl der Ofenbaumaterialien ist für den Verlauf des metallurgischen Prozesses, sowie für die Standhaftigkeit des Ofens gegen die hohen Temperaturen von grösster Bedeutung. In vielen Fällen müssen auch bestimmte Teile des Ofens gegen die hohen Temperaturen durch besondere Luft- oder

Wasserkühlung geschützt werden, woraus sich wieder neue Schwierigkeiten ergeben.

Daneben sind aber auch die elektrischen Verhältnisse bei allen Oefen für den Grad ihrer Vollkommenheit von fundamentaler Bedeutung: Dies gilt ganz besonders vom Induktions-Ofen.

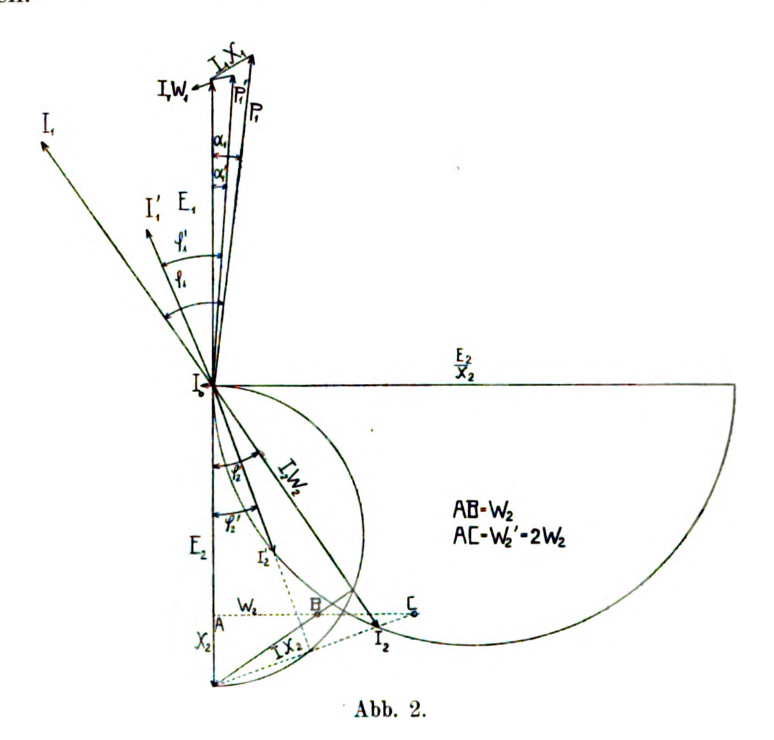


Abb. 2.

Im allgemeinen wird die elektrische Einrichtung eines Induktionsofens als " Spezialtransformator „ bezeichnet, dessen sekundäre Bewicklung durch das Schmelzgut selbst gebildet wird (z. B. Kjellin-Ofen Abb. 1). Damit ist das Prinzip allerdings gekennzeichnet. Wer aber die elektrischen Verhältnisse etwas näher untersucht, findet gar bald, dass der Ofentransformator in elektrischer Hinsicht viel komplizierter ist, als es den Anschein haben könnte, wenn man ihn einfach als Transformator taxiert. Wie schon bemerkt, besteht die sekundäre Seite des Ofentransformators aus einer einzigen Windung, die in sich selbst kurz geschlossen ist, dem Schmelzgut. Mit einem normalen Transformator kann daher der Ofentransformator nicht verglichen

werden. Er lässt sich aber auch nicht vergleichen mit dem normalen Transformator im " Kurzschluss „, wie er für Untersuchungszwecke künstlich hergestellt wird; denn dort wird der Kurzschluss bei stark verkleinerter Primärspannung, d. h. sehr kleiner Kraftliniendichte erzeugt, während er hier bei normaler Spannung, also auch normalem Feld auftritt.

Am besten können die elektrischen Verhältnisse durch ein Diagramm dargestellt werden (Abb. 2). In diesem Diagramm bedeutet E_2 die sekundäre elektromotorische Kraft, wie sie sich aus dem mit beiden Wicklungen verketteten Feld ergibt. Da eine sekundäre Klemmenspannung wie beim normalen Transformator hier garnicht vorkommt, wird E_2 nur für den Ohm'schen Spannungsabfall I_2W_2 und den induktiven Spannungsabfall $I_2\,X_2$ in der Schmelzrinne selbst verbraucht. Die Phasenverschiebung φ_2 zwischen E_2 und I_2 hängt also nur vom Verhältnis $\frac{\chi_2}{W_2} = \frac{2\pi n L_2}{W_2}$ ab, wo L_2 den Selbst-induktions-Koeffizienten und W_2 den Widerstand der Schmelzrinne bedeuten. n ist die Periodenzahl des zugeführten Wechselstromes. Da der Leerlaufstrom I_0 sehr klein ist gegenüber dem Normalstrom (etwa 5 %), sind Primärstrom und Sekundärstrom in der Phase nahezu um 180° verschoben [1]).

E_1 bedeutet die primäre elektromotorische Kraft. Addiert man hierzu den primären Ohm'schen Spanngunsabfall I_1W_1 und den induktiven Spannungsabfall I_1X_1, so erhält man in bekannter Weise die primäre Klemmenspannung P_1. Aus dem Diagramm zeigt sich, dass I_1W_1 wie bei einem normalen Transformator sehr klein ist, dass dagegen I_1X_1 infolge der starken Streuung, bedingt durch den grossen Abstand zwischen Primärwicklung und Schmelzrinne, einen ganz erheblichen Betrag erreichen kann. Charakteristisch für das Diagramm des Ofentransformators sind also: 1) der Wegfall der sekundären Klemmenspannung und 2) der grosse induktive primäre Spannungsabfall. Da nun beim Kjellin-Ofen und ähnlichen Typen der Wert $\frac{2\pi n L_2}{W_2}$ im allgemeinen relativ gross ist, ergibt sich ein recht kleiner sekundärer Leistungsfaktor cos φ_2.

---

[1]) Primär- und Sekundärstrom, sowie Primär- und Sekundär-EMK sind in allen Diagrammen auf gleiche Windungszahlen reduziert.



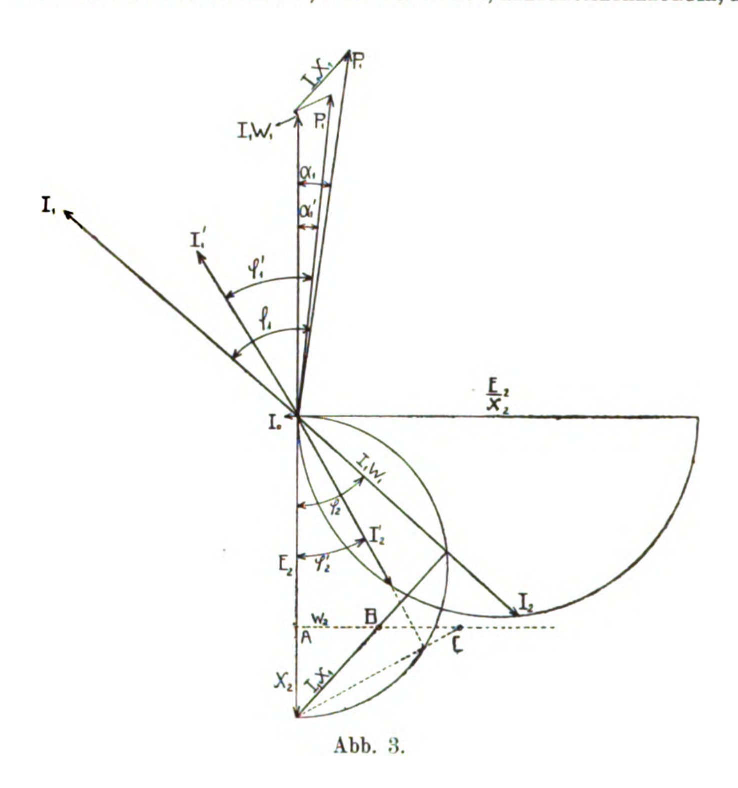


Abb. 3.

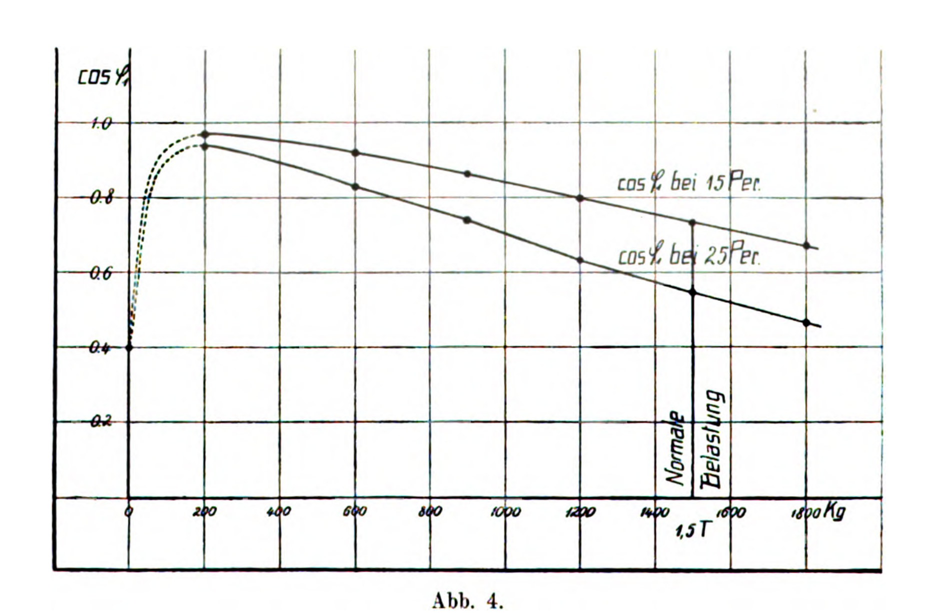

cos φ₁
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
cos φ bei 15 Per.
cos φ bei 25 Per.
Normale Belastung
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800 Kg
1,5 T

Abb. 4.

Betrachten wir zuerst einen bestimmten Ofen, bei dem wir den Einsatz unter Konstantlassung aller übrigen Verhältnisse variieren wollen. Mit zunehmender Charge nimmt der Widerstand W_2 der Schmelzrinne proportional ab, da sich der Querschnitt des Bades mit zunehmendem Einsatz proportional vergrössert. Der Selbstinduktionskoeffizient L_2 der Schmelzrinne, welcher der von der Rinne umfassten Fläche angenähert proportional ist, bleibt mit variablem Einsatz ziemlich konstant: also muss mit wachsender Charge der $\cos \varphi_2$ abnehmen. Dieselbe Ueberlegung führt zu dem Resultat, dass auch mit wachsender Ofengrösse $\cos \varphi_2$ immer kleiner werden muss, da L_2 rascher zunimmt als W_2.

Bei grösseren Oefen, d. h. grösserem Abstand zwischen Primärwicklung und Schmelzrinne, nimmt nun auch der primäre Streuungskoeffizient zu: $I_1 X_1$ wird grösser. Zwischen E_1 und P_1 tritt ebenfalls eine erhebliche Phasenverschiebung α_1 auf, sodass der primäre Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$ noch bedeutend kleiner wird, als der an sich schon kleine $\cos \varphi_2$.

Da nun sowohl $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{2\pi n L_2}{W_2}$, sowie auch $\chi_1 = 2\pi n L_1$ durch Verkleinerung der Periodenzahl n vermindert werden können, ist die Anwendung kleiner Periodenzahlen das beste Mittel, um sowohl φ_2 als auch α_1 bedeutend zu reduzieren, um den Leistungsfaktor über einem annehmbaren Minimum zu halten.

Abb. 2 gibt das Diagramm eines Kjellin-Ofens für 1,5 Tonnen Einsatz, bei einer Periodenzahl $n = 15$; während Abb. 3 das Diagramm eines gleich grossen Ofens, der aber für 25 Perioden gebaut ist, darstellt. Dabei bedeuten die mit einem Strich (′) versehenen Bezeichnungen die elektrischen Daten, wie sie sich für halbe Belastung (annähernd) ergeben. Für den Ofen mit 15-periodigem Betriebsstrom beträgt der Leistungsfaktor bei 1,5 T Einsatz, $\cos \varphi_1 = 0{,}72$, beim Ofen mit 25-periodigem Strom, für denselben Einsatz, $\cos \varphi_1 = 0{,}54$. Hieraus geht der eminente Einfluss der Periodenzahl deutlich hervor.

Aus Abb. 4 kann ausserdem noch der Einfluss der Belastung auf den Leistungsfaktor ersehen werden. Beim ersten Ofen ($n = 15$) fällt $\cos \varphi_1$ nahezu geradlinig von 0,83 auf 0,66, wenn man den Einsatz von 900 kg. auf 1800 kg. steigert; beim zweiten Ofen ($n = 25$) fällt $\cos \varphi_1$ von 0,66 auf 0,46 für dasselbe Belastungsintervall. Dieser starke Abfall des Leistungsfaktors für grössere Chargen ist ein grosser Nachteil des Kjellin-Ofens, denn die

Anwendung eines Betriebsstromes niedriger Periodenzahl ist ein Mittel, das trotz seiner Wirksamkeit nur ungern angewendet wird. Man muss bei grösseren Oefen bis auf 5 Perioden heruntergehen, wenn man einen annehmbaren cos φ erhalten will. Dazu sind aber ganz abnormale Generatoren oder rotierende Umformer notwendig, welche, abgesehen von der Verteuerung der Anlage, den Wirkungsgrad ganz erheblich reduzieren.

Es ist nun schon vorgeschlagen worden, um den Leistungsfaktor zu verbessern, den Ofentransformator durch eine sekundäre Kurzschlusswicklung stärker (induktionslos) zu belasten. Damit wäre aber ein grosser Effektverlust verbunden, und ein besserer cos φ wäre nur durch einen geringeren Wirkungsgrad erkauft.

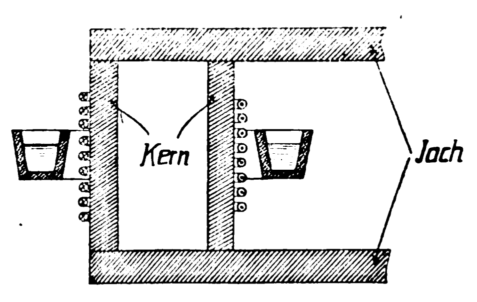


Abb. 5.

In neuester Zeit versucht A. Hiorth in einer patentierten Erfindung die Streuung des Kjellin-Ofens dadurch zu verkleinern, dass er den Transformatorkern als Hohlzylinder mit grossem Aussendurchmesser ausbildet, um so den Abstand zwischen Primärwicklung und Schmelzrinne zu verkleinern (Abb. 5). Die Erfahrung wird zeigen, ob diese Erfindung praktischen Erfolg haben wird.

Indessen hat sich die eben erwähnte Idee einer sekundären Bewicklung in abgeänderter Form als recht brauchbar erwiesen. Im Jahre 1907 wurde im Roechling-Rodenhauser-Ofen ein neuer Induktions-Ofen bekannt, der verschiedene charakteristische Merkmale aufweist, die ihn vom Kjellin-Ofen vorteilhaft unterscheiden (Abb. 6).

Wir bemerken hier in erster Linie *zwei* Schmelzrinnen, welche sich in der Mitte zu einem geräumigen Arbeitsherd vereinigen. Abgesehen von den grossen Vorteilen, welche diese Anordnung

in giessereitechnischer und metallurgischer Beziehung mit sich bringt, tritt dadurch sofort eine Verbesserung des sekundären Leistungsfaktors ein: Durch die Anwendung zweier langgestreckter Schmelzrinnen von kleinem Querschnitt, wird der sekundäre Widerstand W_2 bedeutend vergrössert. Beim Induktionskoeffizienten L_2 ist gerade das Gegenteil der Fall, weil beim R.-R.-Ofen der Abstand zwischen Primärwicklung und Schmelzrinne aus verschiedenen Gründen ziemlich verringert werden konnte. Um jedoch die Streuung noch mehr zu reduzieren, d. h. um den cos φ noch mehr zu steigern, wird hier von dem oben erwähnten

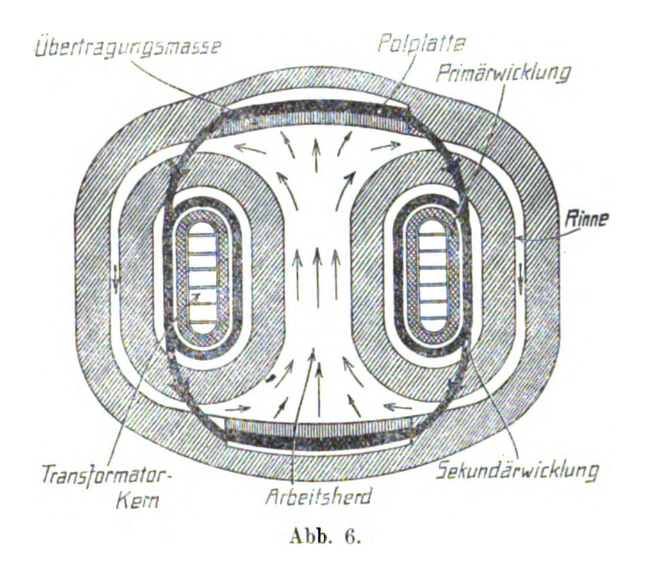


Abb. 6.

Mittel der sekundären Wicklung Gebrauch gemacht. Diese ist aber hier nicht kurz geschlossen, sondern mit dem Schmelzgut in Serie geschaltet, sodass der in ihr induzierte Strom das Eisenbad ebenfalls als Heizstrom durchfliesst (vgl. Abb. 6). Auf beiden Seiten des Herdes sind gusseiserne Polplatten angebracht, welche die Serieschaltung von Sekundärwicklung und Ofeninhalt vermitteln. Um die Polplatten gegen direkte Berührung mit dem flüssigen Eisen zu schützen, ist zwischen beide noch eine feuerfeste Masse, sog. *Uebertragungsmasse* eingeschaltet. Diese, ein Leiter zweiter Klasse, bestehend aus einem Gemisch von Dolomith und Teer, besitzt bei gewöhnlicher Temperatur einen sehr hohen Widerstand. Wenn sie aber einige Hundert Grad warm geworden ist, nimmt ihr Widerstand rapid ab, sodass

der am Anfang der Schmelzung wegen des hohen Widerstandes sehr geringe sekundäre Strom jetzt ansteigt und dem Schmelzgut eine beträchtliche Energie zuführen kann. Die elektrischen Verhältnisse des R.-R.-Ofens sind im Diagramm (Abb. 7) dargestellt [1]).

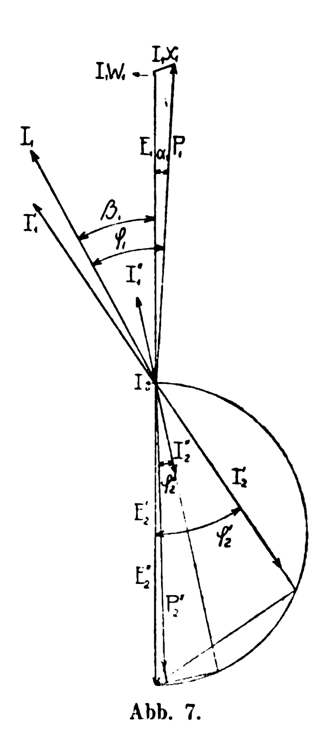


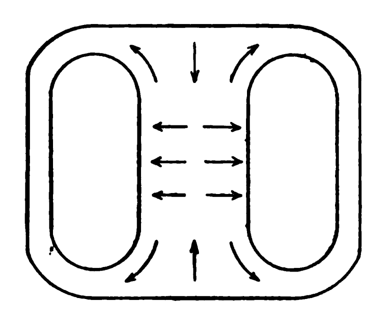
Abb. 7.

Wir haben sekundär den Strom I_2' in der Schmelzrinne, welcher gegen E_2' eine Phasenverschiebung φ_2' besitzt. φ_2' ist jedoch bedeutend kleiner als beim Kjellin-Ofen. Im weitern fliesst in der Sekundärwicklung der Strom I_2'', der gegen die ihn erzeugende EMK E_2'' eine sehr geringe Phasenverschiebung φ_2'' aufweist [2]). Bei normaler Belastung führt die sekundäre Bewicklung ungefähr 20-30 % der totalen Leistung dem Schmelzgut zu. Ueberträgt man nun die Ströme I_2' und I_2'' im Diagramm auf die Primärseite, so gibt ihre Zusammenset-

[1]) Für 50 Perioden.

[2]) Die in der Sekundärwicklung induzierte EMK E''_2 ist im Diagramm auf die Windungszahl 1 reduziert.

zung, indem man noch den Leerlaufstrom I_0 berücksichtigt, den totalen Primärstrom I_1. Der Einfluss des Stromes in der Sekundärwicklung macht sich schon hier dadurch geltend, dass er die Phasenverschiebung β_1 zwischen I_1 und E_1 verkleinert. Ausserdem wird durch diesen Strom aber auch der primäre Streuungskoeffizient und damit I_1X_1 vermindert, sodass auch die Phasenverschiebung α_1 zwischen E_1 und P_1 zurückgeht. Es sind also im ganzen drei Gründe vorhanden, welche beim R.-R.-Ofen auf den Leistungsfaktor verbessernd einwirken. Infolgedessen kann dieser Ofen bei einem Einsatz bis zu 3 T. gut mit einem Strom von 50



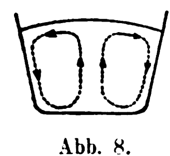


Abb. 8.

Perioden betrieben werden. Man hat dabei beim Anheizen, solange I_2'' noch klein ist, einen Leistungsfaktor von 0,5, welcher dann aber mit zunehmender Temperatur rasch den Wert 0,8 erreicht.

Im übrigen hat der Sekundärstrom noch eine weitere angenehme Wirkung. Da die Querschnitte der Schmelzrinnen beim R.-R.-Ofen sehr eng sind gegenüber dem Querschnitt des Arbeitsherdes, ist die Erwärmung in den Schmelzrinnen zunächst grösser als im Herd. Obschon ausgiebige Zirkulationserscheinungen in diesem Ofen auftreten, ist eine örtlich verschiedene Erwärmung doch sehr ungünstig, und da liefert nun der Strom I_2'' im Arbeitsherd eine willkommene, zusätzliche, temperaturausgleichende Heizung.

Der R.-R.-Ofen wird bereits seit längerer Zeit auch für Drehstrom gebaut. Da sich beim Drehstromofen die Primärwicklung auf *drei* Kerne verteilt, konnte hier der Abstand zwischen Primärwicklung und Schmelzrinnen noch etwas verringert werden. Die Streuungsverhältnisse sind beim Drehstromofen daher besser als beim Einphasenofen, sodass der Leistungsfaktor des Drehstromofens noch höheren Anforderungen gerecht werden kann.

Zum Schlusse sollen noch die Zirkulationserscheinungen im Eisenbad, die für die Mischung desselben von grosser Bedeutung sind, kurz erörtert werden:

Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass die Streukraftlinien der primären und sekundären Seiten, im Raum zwischen den beiden Seiten in *derselben* Richtung verlaufen, sich also gegenseitig abstossen (Abb. 1). Infolgedessen wirkt auf das flüssige Eisen eine horizontal nach aussen gerichtete Kraft, welche, mit der Schwerkraft vereinigt, eine Resultierende ergibt, die die Oberfläche des Bades schief stellt [1]). Diese schiefe Oberfläche scheint der Grund zu sein, für ein Fliessen des Materials von der äussern Badkante nach innen. Beim Kjellin-Ofen ist die Oberfläche des Bades unter Umständen um 30° geneigt, sodass die Ofenwandungen dem heftig zirkulierenden Eisen nur schwer Stand halten können [2]).

Beim R.-R.-Ofen tritt dieselbe Erscheinung, doch in viel schwächerem Masse auf. Die besprochene Wirkung ist hier so, dass sich ein Fliessen von der Herdmitte gegen die Zustellungswandungen hin einstellt (Abb. 8). Da sich die Kräfte, welche von beiden Transformatorkernen ausgehen, teilweise aufheben, ist die Zirkulation des Eisens hier schwächer, als beim Kjellin-Ofen.

Daneben tritt nun in R.-R.-Ofen noch der sog. PINCH-Effekt auf [3]).

Wenn bei einem stromdurchflossenen, flüssigen Leiter an irgend einer Stelle eine Querschnittsverengung, d. h. eine Vergrösserung der Stromdichte s vorhanden ist, so wirkt an jener Stelle auf die Leiterachse ein Druck p von der Grösse: $p = I.s$.

---

[1]) Eine, von C. GRUNWALD unlängst patentierte Erfindung geht dahin, durch eine Hilfswicklung die horizontale Kraft teilweise zu kompensieren.

[2]) Vgl. V. Engelhardt ETZ, 1907, S. 1086.

[3]) Nach C. HERING: to pinch = drücken.

Der Druck p ist also der Stromstärke I und der Stromdichte proportional. Durch diesen Druck wird der schon vorher verengte Querschnitt noch stärker vermindert, sodass der Leiter unter Umständen an dieser Stelle abreissen kann. Ueberdies tritt infolge der Schwerkraft ein Fliessen des Materials gegen den Ort der Querschnittskontraktion hin ein. Wir haben dementsprechend beim R.-R.-Ofen eine Zirkulation vom Herd gegen die Schmelzrinnen und von den Polplatten gegen die Herdmitte (Abb. 8).

Gemäss einer vor kurzem patentierten Erfindung der *Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen*, *Berlin*, kann eine Stromunterbrechung infolge des Pinch-Effektes dadurch verhindert werden, dass man die Ofenwandungen mindestens an den Stellen der kleinsten Querschnitte (Rinnen) aus einem leitenden Material herstellt, welches aber einen erheblich grösseren Widerstand, als das Schmelzgut besitzt. Normalerweise wird dann der Strom zum grössten Teil durch das Schmelzgut fliessen, bei starken Pinch-Effektwirkungen dagegen seinen Weg hauptsächlich durch die Wand der Schmelzrinne nehmen. — Diese schwachleitenden Schmelzrinnenwandungen bringen auch noch einen zweiten grossen Vorteil mit sich:

Um einen Ofen mit kaltem Einsatz in Betrieb zu setzen, muss man, um beim Anheizen einen geschlossenen sekundären Stromkreis zu bekommen, entweder mit *flüssigem* Einsatz beginnen, oder in die Schmelzrinnen sog. *Heizringe* einlegen. Beide Mittel können in vielen Fällen sehr unangenehm sein und werden nun durch obige Erfindung vorteilhaft umgangen, indem man zum Anheizen, mit erhöhter Spannung, ein Strom durch die schwachleitenden Wandungen der Rinnen treibt.

Beim Drehstromofen kommt zu obigen Bewegungserscheinungen noch eine *rotierende* Bewegung des Schmelzgutes hinzu, die Folge eines Drehfeldes, das zwischen den drei Transformatorschenkeln durch die Streuung entsteht. Alle diese Bewegungsvorgänge wirken nun zusammen, um im Ofen eine ausgezeichnete Mischung des Inhaltes hervorzubringen, was speziell bei der Erzeugung von legierten Stählen von grösster Wichtigkeit für die Erzielung eines homogenen Endproduktes ist.

RÉSUMÉ

La fabrication de l'acier au moyen de fours électriques a pris un grand développement. Les fours en usage appartiennent à deux types distincts: les fours à arc et les fours à induction.

Le four à arc fut le premier en date; on le rencontre sous différentes formes dans les installations industrielles où les plus connus sont les fours Stassano, Héroult et Girod.

Le four à induction peut se dire encore une nouveauté dont la réalisation pratique a rencontré de grandes difficultés au point de vue électrique et purement technologique.

Dans ses lignes générales, le four à induction n'est autre chose qu'un transformateur où la masse en fusion joue le rôle de circuit secondaire; elle est contenue dans un canal en matière réfractaire, formant une spire unique qui fait corps avec le noyau du transformateur.

Le fonctionnement du four à induction s'éloigne toutefois de celui d'un transformateur ordinaire en raison des conditions toutes spéciales de sa charge; on ne peut pas davantage le rapprocher de celui d'un transformateur ordinaire en court circuit, où la tension appliquée et l'induction par réaction affectent constamment des valeurs très faibles.

Le déphasage entre la f. é. m. et le courant dans le secondaire d'un four atteint des valeurs très élevées, à cause du taux élevé de self-induction résultant de la résistance du conducteur fluide constituée par le secondaire dans sa gaine réfractaire en forme de spire.

En outre, des nécessités de construction et de fonctionnement obligent à tenir le secondaire d'un four à induction très éloigné du noyau et de son enroulement primaire; il en résulte de fortes fuites de flux magnétique, qui occasionnent un déphasage sensible entre la tension appliquée et la force contre-électromotrice; conséquemment, une augmentation du déphasage, dû à l'inductance de la charge secondaire, entre la tension appliquée et le courant primaire.

Veut-on augmenter la production d'un four de ce type, il faut donner

des dimensions plus grandes au canal de fusion, ce qui augmente à la fois les fuites et le coefficient de self-induction du secondaire, lequel dans le cas d'une spire unique peut être considéré comme proportionnel à la section; l'augmentation du diamètre entraîne une augmentation de la résistance du secondaire, laquelle, pourtant, n'est pas aussi rapide que l'augmentation du coefficient de self-induction. pour la raison qu'augmentant le diamètre du canal, on augmente aussi sa section.

Le déphasage φ_2 *entre la f. é. m. et le courant dans le secondaire, que l'on peut exprimer ainsi:*

$$tg\,\varphi_2 = \frac{2\pi n L_2}{W_2},$$

augmente évidemment avec le diamètre du canal de fusion.

Le facteur de puissance est très faible dans ce genre de fours; aussi a-t-on tenté de l'améliorer en employant du courant à basse fréquence. A 15 périodes par seconde, on a trouvé pour un four de 1500 kg. un $\cos\varphi = 0.75$; *le même four fonctionnant avec du courant à 25 périodes par seconde avait donné* $\cos\varphi = 0.54$.

On a été jusqu'à conseiller la fréquence de 5 périodes par seconde pour arriver à un $\cos\varphi$ *admissible, mais c'est une solution peu recommandable, car elle conduit à l'emploi de mécanismes anormaux et anti-économiques.*

Le four de ce type que l'industrie a adopté est le four Kjellin.

Hiorth a fait breveter un dispositif au moyen duquel il tente d'améliorer le $\cos\varphi$ *en diminuant les fuites de flux; à cet effet, il donne au transformateur un noyau creux et d'un diamètre relativement grand.*

Toujours pour améliorer le facteur de puissance, on a proposé d'ajouter au secondaire, constitué par le canal de fusion, un autre véritable secondaire doué d'un très faible coefficient de self-induction. Il est évident que, même en admettant qu'on puisse utiliser dans quelque partie du four la chaleur produite dans ce secondaire adjoint, le rendement total du four sera diminué.

Le premier four Roechling-Rodenhauser fit son apparition en 1907. Il est composé d'une chambre centrale en matière réfractaire; deux canaux symétriques mais opposés réunissent la partie supérieure de la chambre à sa partie inférieure et les noyaux sur lesquels le primaire du transformateur est enroulé sont disposés dans les espaces qui se trouvent entre la paroi extérieure de la chambre et les canaux de communication. En plus du secondaire principal constitué par le métal en fusion qui occupe la chambre et ses deux canaux, on a établi dans ce type de four un véritable secondaire accessoire, divisé en deux parties égales qu'on a en-

roulées sur deux des noyaux du transformateur; les spires de ce secondaire sont réunies entre elles, mais elles sont montées en opposition et leurs extrémités libres aboutissent à deux plaques réfractaires, mais conductrices, qui se trouvent, l'une au-dessous et l'autre au-dessus de la chambre centrale, de façon à ce que le courant, après avoir parcouru les deux sections du secondaire accessoire, soit obligé de traverser ensuite la masse en fusion renfermée dans la chambre centrale et dans ses canaux de jonction.

Ces fours sont construits pour des fréquences atteignant 50 périodes par seconde, et pour une production de 3 tonnes par journée. Au début de l'opération, le cos φ *est assez bas (environ 0.50); mais il s'élève rapidement avec la température et atteint bientôt 0.8.*

On construit également des fours Roechling-Rodenhauser pour courants triphasés où le cos φ *est amélioré.*

L'A. conclut en présentant quelques observations sur le développement des phénomènes de la circulation à l'intérieur du four. Lorsq'un conducteur fluide, parcouru par un courant électrique, subit un étranglement, il se produit, dans la section ainsi réduite, une perturbation d'équilibre des pressions qui peut aller jusqu'à rompre la veine fluide (phénomène de Pinch). C'est précisément ce qui peut arriver dans les canaux d'un four du type qu'on vient de décrire; on comprendra facilement quel dommage une semblable interruption de la veine fluide peut causer à la fournée en travail.

La Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen *de Berlin essaie de parer à cet inconvénient en employant pour les parois réfractaires du four, ou au moins pour les parties de moindre section, une substance conductrice. Il est clair que, si tout le matériel réfractaire qui entre dans la construction du four était bon conducteur, la mise en marche serait considérablement simplifiée.*

DISCUSSION

M. le prof. Ragno *trouve, dans l'étude de l'ing. Guggenheim, une véritable et complète théorie du four électrique, telle que nul autre, avant lui, ne l'a faite. Il en félicite le Rapporteur.*

Il estime, avec M. l'ing. Catani, que les mouvements du bain sont de nature à favoriser la fabrication des aciers chromés, nickélisés, etc., et qu'ils constituent un des avantages du four électrique pour la préparation de tous les produits sidérurgiques à structure homogène.

C'est d'ailleurs la confirmation de ses idées sur l'excellence du four électrique comme appareil d'affinage.

Les caractéristiques attribuées par M. l'ing. Catani au procédé Lash donnent raison à sa propre manière de voir; en effet, le procédé Lash opère un semi puddlage; il s'ensuit qu'avec le four électrique on se trouve — par ce procédé — comme dans les premiers instants de la préparation d'une opération d'affinage.

Les judicieuses observations de M. Guggenheim sur la valeur du facteur de puissance, sur le rendement du four et sur le phénomène de Pinch, ouvrent la véritable voie à l'étude du phénomène électrique. Toutefois, si l'on veut tirer de ces études une conclusion tant soit peu efficace, il sera bon de ne pas perdre de vue l'état actuel de la technique sidérurgique.

Ceci dit, il exprime l'espérance que dans le prochain Congrès des applications de l'électricité on reprendra le thème de l'électro-sidérurgie indirecte en lui donnant des développements qu'il n'a pas encore reçus.

M. Giovanni Tofani (Rome). — *Les études comme celle qui nous a été présentée sur l'effet de l'impédance des circuits des fours, soit pour ceux à induction, soit pour ceux de type ordinaire, sont très utiles, puisqu'elles permettront de réduire les inconvénients des courants excessifs avec des fréquences normales. Le facteur de puissance pour les fours à fer est très bas, et une très grande diffusion des fours à acier n'est pas présumable, si l'on n'arrivera pas à obtenir, avec les fréquences ordinaires de l'industrie, des facteurs de puissance raisonnables, de manière qu'on puisse les brancher sans frais d'installation spéciaux, et utiliser ainsi les sources d'énergie à débit très variable.*

NOUVEAU PROCÉDÉ DE FIXATION

DE

L'Azote atmosphérique sur les Ferrosiliciums industriels

Ing. GIOVANNI TOFANI (Rome).

J'ai trouvé que, si l'on fait réactionner les Ferrosiliciums industriels (types du commerce à 50 jusqu'au maximum de Silicium) en poussière assez fine avec de l'azote, on obtient des produits qui se forment à une température d'environ 1000° C.

La réaction peut se faire, soit avec l'azote pur, qu'avec l'air directement, pourvu que le Ferrosilicium soit assez finement pulvérisé et soit laissé tranquille en masse, de façon que la chaleur initiée dans un point puisse se dissoudre dans toute la masse. Puisque la réaction se produit avec dégagement de chaleur, il suffit de la faire commencer dans un point de la masse pour la voir continuer rapidement dans toute la masse.

Le produit de cette réaction est gris-blanc ou verdâtre, compact et assez stable : il répond à la formule de $N\,Si\,N_3\,Si_4$ et est toujours mélangé avec du Ferrosilicium non azoté.

Le Ferrosilicium, même à bas titre (50 °/₀ de Si), dans les mêmes conditions que le carbure de calcium, absorbe assez facilement l'azote avec plus grande violence et, puisque le maniement du Ferrosilicium est plus facile et moins délicat, on a donc un avantage à faire actionner le Ferrosilicium avec l'azote. En plus, le composé étant plus stable, il se présente plus facile pour certaines utilisations. L'azote fixé peut donner de l'ammoniaque avec les alcalis fondus, et peut donner de l'acide nitrique avec l'oxydation.

La quantité d'azote fixée par Kilos de Ferrosilicium varie selon le titre en Si du Ferrosilicium: les bas titres en fixent naturellement moins que les titres élevés. Avec le titre de 85/90 % de Si on arrive à une augmentation de poids très élevée et à une fixation d'azote de 40/43 %. C'est là un côté très intéressant, puisque l'azotation est très simple et très facile.

Le produit qui se forme est compact et peut servir à faire des meules pour polir les métaux et des " formes ou coquilles pour y fondre des pièces en fonte et même en acier „. On peut faire la forme en poussière de Ferrosilicium riche, l'azoter après et on réussit à une forme très dure et stable, qui ne se détruit pas même au contact du métal en fusion, pourvu que le Ferrosilicium libre ou le silicium libre ne soit pas qu'en très faible quantité.

Les propriétés chimiques du produit sont:

Pas de réaction sur l'eau même bouillante: il faut une température élevée pour avoir de l'ammoniaque.

Réaction avec les alcalis en fusion pour former beaucoup d'ammoniaque.

Réaction avec le charbon et la chaleur pour donner des cyanures et des ferrocyanures.

Réaction avec les oxydants pour donner quelquefois la perte de l'azote et quelquefois la formation d'oxydes d'azote.

Ce procédé présente un gran intérêt pour l'utilisation des forces électriques, car les Ferrosiliciums à titres élevés se fabriquent au Four électrique aussi bien que le Silicium à 95 %.

Le chauffage préalable pour amorcer la réaction de l'azote sur le Ferrosilicium se fait aussi dans une étuve électrique très simple composée d'un réservoir en maçonnerie dans lequel on dispose un cylindre en tôle qui reçoit le Ferrosilicium pulvérisé très finement.

Une baguette de charbon d'une longueur d'environ un mètre vient chauffée au blanc avec un courant électrique d'environ 60 Ampères et 60 Volts. Aussitôt que la réaction du Silicium avec l'Azote est amorcée, la grande quantité de chaleur qui se dégage suffit pour entretenir la réaction, qui se répande progressivement dans toute la masse.

La réaction du Silicium sur l'Azote était connue, mais, étant

donné le prix très élevé du Silicium métallique, cette réaction n'est jamais sortie des applications du Laboratoire.

On connaissait encore dans ces derniers temps différents procédés de fixation d'Azote atmosphérique sur des composés de Silicium dans lesquels les Siliciums étaient en fusion à des températures élevées.

Il est bien facile de comprendre que ces procédés ne peuvent pas aboutir à des applications pratiques, car les dépenses pour entretenir liquide un bain de composés du Silicium seront toujours trop fortes, aussi bien que les difficultés de faire barboter l'azote gazeux dans une masse en fusion; tandis que, si les composés azotés peuvent avoir des applications pour utiliser leur azote, très probablement mon procédé, qui utilise la chaleur de la réaction d'azotation tout en laissant tranquille la masse pulvérisée, de façon que les dépenses de main-d'œuvre, d'entretien, etc., soient au minimum, pourra fournir les dits composés à un prix très réduit par chaque unité d'azote fixée.

Les nouveaux corps azotés viennent se plaçer parmi les derniers composés très intéressants, qui peuvent fixer directement de grandes quantités d'azote atmosphérique: il est bien sûr que l'on ne peut pas songer à une application aussi heureuse que celle de la Cyanamide de Calcium qui peut directement être utilisée comme engrais azoté; néanmoins la teneur élevée en azote que l'on peut atteindre, et les prix relativement bas des Ferrosiliciums fabriqués en gros, laissent espérer quelque débouchée nouvelle pour nos installations hydro-électriques. Les recherches doivent se tourner particulièrement sur l'utilisation des composés azotés au moyen d'oxydation de l'azote fixé.

Dans le " Stand „ de la " Società Piemontese per la Fabbricazione del Carburo di Calcio e prodotti affini „ à l'Exposition de Turin 1911 (Section d'Électrochimie, N° 113, au Pilonetto) on a pu voir différents échantillons des composés Siliconidrides fabriqués avec Ferrosilicium à teneurs différentes et l'Azote atmosphérique.

La distribution de l'énergie électrique
POUR LES TRAVAUX AGRICOLES

Rapporto sul Tema N. 30 del Congresso.

Relatore PAUL LECLER (Chatelleranlt - France).

Introduction.

L'électricité est susceptible d'applications agricoles extrêmement nombreuses et variées, mais, jusqu'à présent, dans l'ensemble, ces applications se sont relativement peu développées et les résultats obtenus n'ont pas été toujours satisfaisants. Il en est résulté que beaucoup de producteurs de courant se désintéressent de la clientèle agricole, parce que, sans rechercher si les mauvais résultats constatés ne sont pas dus à des causes particulières (et notamment à une méconnaissance parfois absolue des conditions agricoles), ils généralisent immédiatement les conclusions défavorables qu'on peut tirer de certains échecs éprouvés dans des conditions spéciales.

Pourtant, c'est surtout en agriculture qu'il est dangereux de tirer des conclusions générales de remarques particulières, et la généralisation d'observations exactes, portant sur des cas spéciaux, peut y conduire à des conclusions absolument erronées en général, à cause de l'extrême diversité des conditions agricoles qu'on ne peut modifier, parce qu'elles tiennent par exemple à la configuration du sol, à sa nature, au régime des eaux, au climat, à des circonstances économiques générales ou locales, et qui, toutes, influent sur la nature des cultures et les travaux à effectuer.

C'est ainsi par exemple que la culture ne peut être la même dans les régions polaires que dans les pays tropicaux; dans une même région, à de faibles distances, les conditions changent, par exemple en passant du fond d'une vallée humide au sommet d'un coteau desséché.

Dans certaines régions, la propriété est extrêmement morcelée; ailleurs, au contraire, on ne rencontre que de grandes exploitations; parfois, le propriétaire fait valoir lui-même; souvent il afferme ses terres moyennant une redevance fixe ou bien il partage la récolte en nature avec des colons partiaires (métayage).

Dans une région, on fait surtout de l'élevage; plus loin, c'est la production de céréales qui domine; ailleurs, ce sont les produits beurriers.

Dans nombre de localités la main d'œuvre est rare, ailleurs on en trouve encore assez facilement; ici, l'esprit d'association est très développé; là, les syndicats ne sont qu'embryonnaires, etc.

Comment, dans ces conditions, serait-il possible de déterminer une ligne de conduite invariable, applicable à tous les cas?

C'est manifestement impossible et tout ce qu'on peut faire c'est, en étudiant les conditions générales agricoles, de rechercher une méthode générale permettant ensuite de faire l'examen critique des divers cas qui peuvent se présenter, de manière à déterminer chaque fois la solution à adopter d'après les conditions particulières et non pas d'après une opinion conçue *a priori*.

Cette étude des conditions générales agricoles nous montre notamment qu'une des causes les plus importantes des échecs éprouvés jusqu'ici a été, avec la méconnaissance des conditions agricoles, le manque d'une conception nette de l'ensemble du problème à résoudre.

Jusqu'à présent, en effet, on a considéré les applications agricoles de l'électricité isolément, indépendamment des contingences, tandis qu'en réalité les diverses opérations agricoles dépendent étroitement les unes des autres et constituent un cycle fermé.

Actuellement, quand ces opérations sont faites par des hommes et des animaux, les mêmes agents accomplissent successivement les diverses opérations du cycle et sont ainsi utilisés le mieux possible. L'homogénéité existe donc alors, tandis que, jusqu'à présent, quand on a cherché à employer l'électricité en agriculture pour remplacer d'autres moteurs, on n'a guère considéré que des substitutions isolées, de telle sorte que, pour les autres

opérations du cycle, il fallait conserver les mêmes agents qu'auparavant (tout au plus en nombre un peu diminué).

Dans certains cas la substitution de l'électricité aux moteurs actuels pour une seule opération déterminée (labourage ou battage, par exemple) peut être avantageuse, mais il n'en est pas moins indiscutable que cette dualité de moyens incomplètement utilisés, et, par conséquent, la dualité des frais qui en résulte, ne peut qu'être fatale en général au succès économique de toute tentative de ce genre, à moins de conditions exceptionnellement favorables.

On s'explique alors pourquoi, sans qu'il soit même nécessaire d'entrer dans aucun détail, malgré tous les efforts faits, certaines applications agricoles de l'électricité telles que le labourage n'ont pu prendre aucun développement; ce ne sont pas tant les difficultés techniques que les difficultés économiques qui s'y sont opposées, alors que tout l'effort portait sur le côté technique.

On est donc conduit ainsi à envisager comme seule rationnelle la solution consistant à substituer intégralement l'électricité aux moyens actuels, pour l'ensemble des travaux agricoles.

Certes une telle solution, comportant l'aménagement des exploitations agricoles au moyen d'installations fixes (notamment de voies d'ancrage dans les champs, voies se continuant sans solution de continuité jusqu'à l'intérieur des exploitations, et servant à assurer le fonctionnement et le transport des divers appareils et des produits de culture), ne peut être ni générale, ni immédiate, et son application intégrale soulèverait dans la plupart des cas de nombreuses difficultés d'ordre économique et social.

Néanmoins l'étude de cette solution et des moyens d'y parvenir montrera plus loin qu'elle sera réalisable dans beaucoup de cas, non par coercition, mais par la libre entente des agriculteurs pour appliquer en commun les solutions les plus profitables à leur intérêt commun.

Bien entendu ceci ne veut pas dire qu'il ne faut rien faire jusqu'à ce que cette solution ait été appliquée.

Au contraire, il est, même à ce seul point de vue, très désirable d'appliquer l'électricité aux travaux de culture chaque fois que cela peut être fait avantageusement, en se contentant de solutions partielles adéquates aux conditions de chaque cas particulier.

Mais comme il ne saurait être question, économiquement parlant, de produire l'électricité dans les exploitations agricoles

(à part de rares exceptions), il s'ensuit que les agriculteurs ne peuvent employer l'électricité que là où ils sont alimentés de courant par une source extérieure.

La question du développement de ces applications est donc subordonnée à celle du développement des réseaux de distribution d'énergie électrique.

Jusqu'à ces dernières années, ces réseaux étaient surtout urbains, de sorte que, dans la plupart des régions agricoles la question des applications agricoles de l'électricité ne se posait même pas.

Il en est tout autrement aujourd'hui, alors que les réseaux régionaux s'étendent de plus en plus.

Mais pour que ces réseaux puissent desservir une clientèle agricole étendue, il est nécessaire qu'ils se ramifient et s'étendent encore davantage.

Et ici, nous touchons à un point délicat de la question. Les entreprises de distribution disent: nous ne pouvons développer nos réseaux à cause de la faiblesse de la consommation à prévoir, qui rémunérerait insuffisamment les capitaux engagés (et souvent même d'ailleurs nous sommes dans l'impossibilité de faire des prévisions raisonnables).

Les agriculteurs, eux, répondraient, si la question leur était posée: " donnez-nous d'abord l'électricité, nous l'utiliserons ensuite, peu d'abord, puis beaucoup, car les perspectives de développement de notre consommation sont très grandes „.

Au fond, ce sont plutôt les agriculteurs qui ont raison: c'est à celui qui a une marchandise à vendre de la mettre à la portée du client. D'ailleurs les agriculteurs, dans la circonstance ne peuvent qu'attendre le marchand, c'est-à-dire le producteur de courant.

Au reste, ce qui arrête celui-ci, c'est seulement en réalité le manque d'argent pour faire les lourdes immobilisations qu'entraîne l'extension des réseaux en vue des applications agricoles.

Dans certains cas, il est probable, surtout quand les avantages de l'électricité seront bien connus dans les milieux agricoles, qu'on pourra utiliser dans ce but la participation des agriculteurs d'autant plus facilement que la consommation générale d'électricité pour les besoins agricoles s'accroîtra.

En tous cas par la force des choses les applications agricoles de l'électricité se développeront d'elles-mêmes, en faisant la tache d'huile, mais ce serait pour les électriciens un mauvais

calcul que de compter uniquement sur cette progression spontanée de la consommation agricole.

Le moteur à explosion est en effet, dès maintenant, susceptible de faire une concurrence sérieuse pour nombre d'applications au moteur électrique auquel il pourra être dans nombre de cas difficile de le déloger, d'autant plus que les symptômes actuels de régression sociale (grèves, sabotages, etc.) militent, au point de vue agricole, en faveur du moteur à explosion, assurant l'indépendance de son propriétaire, contre le moteur électrique, qui dépend absolument du réseau.

Les entreprises de distribution ont donc tout intérêt à ne pas perdre de temps pour développer les applications agricoles de l'électricité.

Le but, avant tout pratique, que je me propose ici est de fournir aux entrepreneurs de distribution d'énergie électrique des éléments d'appréciation leur permettant de déterminer les conditions dans lesquelles telle ou tellè application présente des chances sérieuses de succès, et celles dans lesquelles elle ne peut réussir qu'exceptionnellement.

Puis j'ai cherché à réunir des données expérimentales en vue de permettre aux agriculteurs et surtout aux entreprises de distribution de prédéterminer la consommation d'énergie qu'il est possible de prévoir dans des conditions déterminées.

Enfin je me suis efforcé, en discutant les conditions agricoles et les résultats obtenus, de chercher de quelle manière et par quels moyens les entreprises de distribution pouvaient agir pour développer la consommation d'énergie électrique dans la clientèle agricole, aussi bien dans leur intérêt particulier que dans l'intérêt général.

Ne disposant que de données malheureusement très incomplètes je n'ai pu traiter mon sujet avec toute l'ampleur qu'il comporte. Qu'il me soit cependant permis d'espérer que mon travail ne sera pas complètement inutile au développement des applications de l'électricité en agriculture (1).

(1) Afin de ne pas sortir du cadre déjà très étendu de ce travail, je me vois obligé de laisser complètement de côté l'examen critique des dispositions adoptées pour les appareils agricoles actionnés électriquement, aussi bien en ce qui concerne les principes appliqués dans la construction de ces appareils, que les détails de leur construction.



Ière Partie.

Les conditions générales agricoles.

Le but de l'agriculture est de tirer d'un sol donné le maximum possible de produit net.

Le moyen de parvenir à ce résultat est de produire des végétaux, qui sont ensuite vendus, ou utilisés sur place de diverses manières, le plus souvent pour la nourriture des animaux.

Exception faite de quelques cas particuliers, cette production de végétaux ne peut s'obtenir pratiquement que dans des terres ayant subi une préparation convenable.

Cette préparation comporte diverses opérations mécaniques, ayant notamment pour but de diviser le sol et de l'aérer le plus possible (labour), ainsi que l'addition à ce même sol d'engrais pour remplacer, en totalité ou en partie, les substances enlevées par les récoltes.

Il faut de plus, pendant la végétation, maintenir le sol dans les conditions les plus favorables à la croissance des plantes, tout en s'opposant au développement des espèces parasites.

Tous ces travaux ne peuvent s'effectuer sans une dépense d'énergie, qui encore actuellement est presque exclusivement (exception faite pour le battage des céréales) obtenue avec des moteurs animés, la plupart du temps des chevaux ou des bœufs, de telle sorte que dans une exploitation agricole les diverses opérations constituent un cycle fermé, tout au moins, en général:

La terre produit des végétaux, et on lui rend du travail et des engrais.

Les animaux transforment la nourriture provenant du sol en travail et en fumier (ainsi qu'en viande et en lait).

Une partie des récoltes est emportée définitivement, tandis qu'au contraire on apporte à la terre, sous forme d'engrais chimiques, des éléments correspondants à ceux enlevés. Cet apport se fait soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire des animaux (absorbant de la nourriture produite à l'extérieur de la ferme).

Une exploitation agricole comporte des terres d'une certaine

étendue, et des bâtiments d'exploitation pour loger les hommes et les animaux, et abriter les récoltes.

Pratiquement le cycle des opérations agricoles est un cycle fermé, des terres à l'exploitation et de l'exploitation aux terres.

Tels sont en résumé les principaux caractères d'une exploitation agricole quelconque.

Étant donné le prix de revient élevé de l'énergie animale comparé à celui de l'énergie des moteurs inanimés, il semble de prime abord qu'il y a un non sens absolu à opérer de la sorte, d'où les accusations de routine indécrottable, si souvent portées contre les agriculteurs, et si souvent injustifiées.

C'est qu'en effet la question ne consiste pas seulement à effectuer tel ou tel travail de telle ou telle manière.

Pour obtenir une bonne production d'une culture donnée, il ne faut pas seulement faire convenablement le labour; il faut aussi mettre dans le sol l'engrais convenable. De plus il est indispensable d'utiliser les sous-produits de cette récolte:

Or les animaux ne sont pas seulement moteurs: ils consomment aussi ces sous-produits (pailles, balles, etc.) de peu de valeur qu'on ne saurait utiliser autrement, et les transforment en un engrais indispensable, car en plus des éléments fertilisants qu'il apporte au sol, et qui pourraient être éventuellement remplacés par des engrais chimiques, il joue un rôle physique, en divisant la terre et en y retenant l'eau nécessaire à la végétation.

En tenant compte de cette utilisation des sous-produits le prix de revient de l'énergie produite par les animaux s'abaisse fortement.

D'autre part, une fois hors de service, ils peuvent être engraissés et vendus à la boucherie, de telle sorte que leur amortissement ressort à un chiffre faible.

Enfin les frais d'acquisition et d'entretien de l'ensemble moteur et matériel, dans le cas d'emploi d'animaux, sont incomparablement plus réduits qu'avec des moteurs inanimés.

Ces raisons, à elles seules, expliquent donc le peu de développement des moteurs inanimés pour les travaux de culture, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer la défiance naturelle des agriculteurs à l'égard des innovations, défiance souvent justifiée d'ailleurs, en général, parce que les causes agissant sur la végétation étant multiples et variables à l'extrême, il est souvent difficile d'établir des relations de cause à effet entre la modification d'une variable et le résultat obtenu, et un succès isolé



peut dépendre d'un concours fortuit et ignoré de circonstances exceptionnellement favorables.

C'est précisément parce que l'agriculteur sait parfaitement bien se rendre compte de ses intérêts qu'il ne change pas sa manière de procéder, alors même que ses moyens le lui permettraient, tant qu'il n'est pas sûr de son fait.

Or, ainsi qu'on l'a vu, *dans les conditions actuelles* la culture mécanique, et en particulier le labourage mécanique, ne peuvent être avantageux que dans des exploitations étendues (bien entendu, sauf cas particulier).

Or, ces grandes exploitations sont rares en France et leur nombre diminue au lieu d'augmenter.

Ce fait en contradiction avec les tendences industrielles s'explique par les raisons suivantes:

L'agriculteur est, par la force des choses, un encyclopédiste. Il lui faut connaître les animaux, les engrais, déterminer ses assolements, connaître les époques des divers travaux, les modifier, les avancer ou les retarder, suivant le temps, l'état des terres et des récoltes, en se pliant aux circonstances, qui peuvent rendre urgent, à l'improviste, tel ou tel travail.

On voit donc combien l'élément personnel intervient dans le résultat obtenu, et l'on comprend par suite comment l'agriculteur exploitant pour son compte (propriétaire, fermier ou métayer), ne craignant pas sa peine et participant lui-même aux divers travaux de son exploitation, obtiendra en général de meilleurs résultats qu'un personnel salarié (1).

Or, à partir d'une certaine étendue, variable suivant les régions et les cultures, le chef d'exploitation ne peut plus participer à tous les travaux, ni même les surveiller suffisamment.

D'autre part, si une exploitation est d'autant mieux cultivée qu'elle est plus petite, il y a cependant, on le comprend, une limite inférieure d'étendue, également très variable suivant les cas, au-dessous de laquelle on ne peut descendre.

On en arrive donc ainsi à concevoir un état d'équilibre dans lequel l'agriculteur (au besoin aidé de sa famille) cultive une exploitation assez grande pour subvenir à tous ses besoins, sans

---

(1) Pour les divers systèmes de salaires susceptibles d'intéresser l'ouvrier à son travail, voir le " Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, août 1907: *Les salaires à Primès* " par Paul Lecler.

cependant l'être trop pour qu'il ne puisse s'occuper de tout par lui-même.

Cet état d'équilibre existe: c'est la moyenne propriété, qui s'agrandit constamment aux dépens de la grande, dans tous les pays (1).

On peut se demander si ce mouvement se continuera, ou si, au contraire, une fois les moteurs inanimés introduits en agriculture, la grande propriété ne regagnera pas le terrain perdu.

Les éléments manquent pour qu'on puisse émettre une opinion à ce sujet soit dans un sens soit dans l'autre, mais toutefois la dernière hypothèse paraît peu probable pour les raisons suivantes:

D'abord, l'agriculture est un métier de gagne-petit, les prix de vente sont en général à peu près les mêmes pour tout le monde: et le bénéfice vient, pour beaucoup, d'économies sur la manière de vivre, et aussi de l'exécution des travaux en temps convenable; à ce point de vue, l'agriculteur moyen a un avantage marqué sur le grand propriétaire, qui a nécessairement des frais généraux plus élevés et ne peut toujours effectuer ses travaux aussi opportunément que le petit cultivateur.

D'autre part, le cycle des opérations agricoles est partiellement fermé sur lui-même, d'autant mieux que l'agriculteur n'est pas seulement producteur; il est aussi consommateur, et consomme, soit pour lui, soit pour ses animaux, une grande partie de ses produits, sans qu'aucun intermédiaire n'ait à intervenir.

Toutes ces causes, on le voit, sont en faveur de la petite et de la moyenne propriété et, par suite, non pas contraires mais

---

(1) Ce fait, constaté partout, détruit la thèse défendue par Karl Marx et de nombreux écrivains socialistes, d'après laquelle la propriété se concentrerait dans un nombre de mains de plus en plus restreint.

Voir à ce sujet le discours très documenté de Mr Ruau, Ministre de l'Agriculture, prononcé le 14 mars 1909 au Musée Social à Paris. " Journal officiel de la République Française ", 6 mars 1909, pages 2704 à 2716.

On remarquera que je n'indique pas de chiffres pour la superficie de la moyenne et de la grande propriété: c'est qu'ils sont extrêmement variables: en culture maraîchère une exploitation de 1 ou 2 hectares est déjà grande; dans des terres pauvres, une exploitation de 40 hectares n'est que moyenne. En général cependant, en France, on désigne comme moyenne une exploitation de 10 à 40 hectares et comme grande une propriété de 40 à 100 hectares.



moins favorables au développement des applications agricoles de l'électricité que ne le serait l'extension de la grande propriété.

Néanmoins la pénurie croissante de main d'œuvre, rend de plus en plus grande pour l'agriculteur la nécessité de recourir à des moyens mécaniques rapides pour l'exécution de ses travaux, et d'autant plus que ces moyens sont les seuls qui lui permettent d'augmenter le produit de ses terres par le labour profond, ou, plus exactement, le labour approfondi progressivement et combiné avec des apports suffisants d'engrais.

Nous verrons qu'on peut trouver entre ces conditions opposées un moyen terme dans la constitution de groupements d'agriculteurs (là où les exploitations actuelles sont de trop petite étendue) dans le but d'exploiter en commun ou du moins d'utiliser en commun des appareils mécaniques pour exploiter leurs propriétés (dès maintenant d'ailleurs, dans nombre de cas l'emploi des moteurs s'est développé dans les exploitations même petites et moyennes pour les applications d'intérieur de ferme).

IIe Partie.

Les applications agricoles de l'électricité.

On peut les énumérer comme suit:

1° Électroculture proprement dite, c'est-à-dire action de l'électricité sur les végétaux;

2° Applications mécaniques (1) comme moteur pour:

a) les travaux d'extérieur de ferme, ou de culture, notamment le labourage;

b) les travaux d'intérieur de ferme (préparation de la nourriture des animaux, etc.) et le battage des céréales;

3° Autres applications (élévation et distribution d'eau, frigorifiques, laiteries, etc.);

4° (Pour mémoire) Éclairage.

---

(1) Voir notamment mon rapport au Congrès d'Électricité de Marseille, septembre 1908. Compte rendu. Tome I, p. 683. Gauthier Villars, Paris, 1909.

1° *Électroculture proprement dite.*

Depuis longtemps, on a pensé que l'électricité était susceptible d'exercer une action sur les végétaux, et de nombreux expérimentateurs ont étudié cette question, successivement abandonnée et reprise à diverses époques.

Sans remonter aux premiers expérimentateurs du 18e et du 19e siècle (abbé Nollet, Jalabert, Bose, abbé Menou, abbé Bertholon, Humboldt, etc.), j'indiquerai seulement que cette question, reprise par Hervé Mangon en 1861, a été étudiée ensuite par Grandeau, Leclercq, Naudin, ainsi que par William Siemens, qui en 1881, en décrivant (1) ses essais dans sa petite ferme d'Angleterre, faisait preuve d'un certain optimisme (" Je puis avoir des pêches, des fraises et autres fruits annuels l'hiver... „. Par la lumière électrique on peut produire des fruits en hiver, d'un arôme tout à fait exceptionnel „), facilement compréhensible d'ailleurs à cette époque d'enthousiasme.

Le professeur suédois Selim Lemström de l'Université d'Helsingfors faisait ensuite, de 1885 à 1887, divers essais, repris en France en 1888 à la Ferté en Bourgogne, en donnant paraît-il des résultats assez satisfaisants.

Le professeur Lemström est mort en 1906, mais la question a été reprise en Angleterre par Sir Olivier Lodge (2), ainsi que par Mr R. Thwaiter, au Royal Botanic Garden (3), et étudiée en Allemagne par Heber, le Dr Max Breslauer (4), le Dr Höstermann (5) dont les conclusions, analogues à celles de Mr Thwaiter, seraient plutôt en faveur de l'utilisation de l'électricité, tandis que Mr le Professeur Gerlach et le Dr Erlwein, ainsi que le Professeur Kühn (6) de l'Université de Hall auraient constaté que les brillants résultats promis par la belle apparence des plantes pendant la végétation s'évanouissaient à la récolte.

---

(1) " Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France „, 1881. Séances visites à l'Exposition d'Électricité, p. 221 (2e semestre 1881).

(2) " Electrician „, 1908, vol. 61, p. 523. V. également " Electrical Engineering „, 16 juillet 1908.

(3) " Electrical Engineering „, 1 août 1907.

(4) E. T. Z., 1908, p. 915.

(5) E. T. Z., 1910, p. 294.

(6) E. T. Z., 1910, p. 380.

En France Mr Berthelot a fait de nombreux essais à Bellevue, et, récemment, en Champagne (1) on a fait des essais en vue de détruire le phylloxéra, et, simultanément, d'augmenter la quantité et la qualité du vin produit.

Certains essais faits en 1908 dans le département de la Marne en vue de détruire le phylloxéra n'auraient détruit que les ceps, laissant le phylloxéra intact.

On voit donc que jusqu'à présent les expérimentateurs n'ont pas manqué, mais sans aboutir à des résultats très concluants, bien qu'ils aient fait des essais dans diverses directions.

Sans entrer dans le détail de ces essais, ni chercher à déterminer exactement la part qui revient à chaque expérimentateur, je vais essayer, en me plaçant uniquement au point de vue pratique, de résumer les données acquises jusqu'à présent, autant du moins que me permettent de le faire les renseignements que j'ai entre les mains.

Certains expérimentateurs ont fait agir l'électricité par influence, tandis que d'autres ont étudié son action lumineuse. A ma connaissance du moins, on n'a pas encore étudié pratiquement, au point de vue spécial qui nous occupe (accélération de la végétation, augmentation de qualité ou de quantité de la récolte), l'action des ondes hertziennes et des diverses radiations.

On peut classer comme suit les expériences faites sur l'action de l'électricité par influence:

1° Électricité atmosphérique;
2° Courant continu haute tension;
3° Courant alternatif haute tension.

La tension des courants expérimentés était de l'ordre de 100.000 volts. Le courant continu était produit (notamment dans les expériences anciennes) par des machines à influence, ou encore par redressement de courants alternatifs.

Le courant alternatif, tout naturellement, était fourni par des transformateurs.

En ce qui concerne la technique opératoire, elle consistait dans la plupart des essais à disposer au-dessus des champs d'expé-

---

(1) *Etude sur l'Electroculture*, " Journal technique et industriel ", Paris, 1907. Il faut mentionner encore les essais de Mr Basly à Angers.

rience des réseaux en fils métalliques, isolés, à mailles de dimensions très variables, et disposés à des hauteurs également très variables au-dessus du sol, depuis presque à ras de terre jusqu'à une distance de 4 mètres, l'écartement des fils étant également de plusieurs mètres en général. Dans le cas d'essais avec le courant continu, les réseaux étaient chargés soit positivement, soit négativement.

On a expérimenté diverses espèces de végétaux, dans diverses conditions atmosphériques, et à diverses époques.

Ainsi que je l'ai indiqué plus haut, les conclusions à tirer des essais effectués jusqu'à présent sont encore peu nettes: dans l'ensemble, elles peuvent se résumer comme suit:

L'action de l'électricité est variable suivant la nature des plantes expérimentées, les conditions atmosphériques, les heures de la journée pendant lesquelles on opère, ainsi que l'humidité du sol.

Il semblerait qu'on puisse diviser les plantes en deux catégories: celles pour lesquelles l'électricité a une influence généralement favorable (céréales, betteraves, pommes de terre) et celles au contraire auxquelles cette action est nuisible (pois, choux, carottes).

Les conditions favorables seraient: grande humidité du sol et de l'air, température élevée, temps couvert.

On n'obtiendrait que de mauvais résultats en faisant agir l'électricité quand le soleil brille, ou lorsque l'air est sec, ou par temps de sécheresse. L'été, on ne pourrait donc agir que de grand matin, ou dans la soirée.

Pour la lumière, certains expérimentateurs ont trouvé que les rayons ultra-violets étaient nuisibles, d'autres leur ont attribué une influence favorable.

Étant données les constatations déjà faites sur l'influence des différentes conditions du milieu sur les résultats obtenus, il est extrêmement vraisemblable que les résultats contradictoires obtenus dans des conditions en apparence identiques proviennent de ce qu'on a négligé quelques facteurs importants, dont l'action, pour n'être pas étudiée par les expérimentateurs, n'en est pas moins importante.

Il est très possible que, une fois ces diverses influences mieux connues, on arrive à obtenir avec certitude des résultats favorables, et par suite à trouver de ce côté un débouché important pour les producteurs d'énergie électrique, bien que les quantités

d'énergie mises en jeu soient assez faibles (de l'ordre de grandeur de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{20}$ de Kilowatt-heure par hectare et par heure).

Néanmoins, étant donné l'état actuel de la question, il est impossible d'établir aucune précision de consommation pour ces applications, dans l'étude des réseaux, et l'on ne peut qu'exprimer le souhait de voir de nouvelles expériences aboutir à des conclusions fermes.

2° *Applications mécaniques.*

a) *Travaux d'extérieur de ferme, ou de culture.*

Difficultés provenant de la constitution du sol.

Indépendamment de l'apport des engrais et de l'enlèvement des récoltes, les travaux de culture ont surtout pour but d'ameublir le sol aussi complètement que possible, pour y faire pénétrer l'eau et l'air, et, en ce qui concerne le principal de ces travaux, le labour, de retourner le sol plus ou moins complètement pour en bien mêler les diverses parties, en faisant passer le dessus dessous et inversement.

Lorsqu'il y a de mauvaises herbes ayant porté graines à la surface du sol, comme c'est le cas après une culture de céréales, le mieux est de labourer superficiellement les champs (déchaumage) aussitôt que possible après la moisson, de manière à enterrer le mauvaises graines et les faire germer; le labour qui s'effectue ensuite après épandage des engrais détruit les mauvaises herbes qui ont levé à la suite du déchaumage.

On sème après le labour, on enterre les graines (par un hersage) et on comprime le sol sur elles (au rouleau) pour que l'humidité nécessaire à la germination monte plus facilement du sous-sol par capillarité. Ensuite, dans le cours de la végétation, on ameublit au contraire (lorsque cela est possible) la surface du sol pour réduire le plus possible l'évaporation superficielle en rompant la continuité de ses canaux capillaires, et pour détruire les mauvaises herbes.

Somme toute, on voit que, dans l'ensemble, ces divers travaux se ramènent à traiter la terre, en place, en la pulvérisant le plus possible.

Avant d'examiner les outils employés et leur mode de fonc-

tionnement, il est donc indispensable de connaître la matière à traiter.

La terre arable n'est pas une substance homogène de composition invariable, ni toujours identique à elle-même: c'est au contraire un composé plus ou moins hétérogène, dont les propriétés et notamment la résistance aux efforts mécaniques varient non seulement suivant sa composition, et les matières (pierres, cailloux, etc.) qu'il peut contenir, mais aussi suivant son état hygrométrique, ainsi que la température ambiante (gelée).

De plus, le sol est presque complètement incompressible, et pratiquement dépourvu de toute élasticité, sauf dans le cas où il contient une proportion anormale de fibres végétales (racines, etc.).

A sa surface, on rencontre souvent (notamment après la récolte des céréales) une couche plus ou moins fibreuse et résistante, composée d'herbe, racines, fragments de tiges ou de chaumes (éteules) susceptibles d'opposer une plus ou moins grande résistance aux outils, et même de s'agglomérer, en formant des bourrages qui gênent parfois le travail d'une manière excessive.

Le sol peut contenir des parties plus résistantes que les autres, notamment des pierres ou des cailloux qui, étant englobés dans la masse du terrain, ne peuvent être déplacés qu'en même temps que la terre qui les enrobe: lorsqu'ils sont de trop grandes dimensions, ils entraînent des arrêts brusques de l'outil qui vient les rencontrer, et souvent sa rupture.

L'expérience a d'ailleurs montré que l'emploi de ressorts dans les parties travaillantes (lorsque, bien entendu, il est possible) diminuait la quantité d'énergie nécessaire pour obtenir le même résultat qu'avec des outils rigides.

D'autre part, le seul but poursuivi étant d'ameublir le sol, en place, et, tout au plus, de le retourner sur une hauteur égale à la profondeur du travail, il s'ensuit que tout autre déplacement de ce sol, soit en hauteur, soit dans le sens horizontal, et notamment toute projection constitue une perte sèche d'énergie.

Le but du travail du sol est de l'ameublir, c'est-à-dire de rompre la cohésion de ces molécules les unes avec les autres. Or, la vitesse avec laquelle on effectue cette rupture d'équilibre n'est pas indifférente: il semble, d'après l'expérience, qu'elle ne puisse se faire que lentement, comme si les molécules de la



masse glissaient les unes sur les autres en se détachant progressivement (1).

Adaptation des outils de culture au sol.

Les outils à marche rapide, agissant à la fois sur de petites quantités de matière rapidement renouvelées, notamment les outils à percussion, ou ceux fonctionnant par projection, se trouvent donc ainsi, à priori, être inférieurs aux outils traditionnels, aux charrues, lesquelles, avec leur disposition résultant de l'expérience accumulée, sont au contraire particulièrement bien adaptées au travail à accomplir (et aux moteurs animés).

La charrue fonctionne en effet avec une vitesse réduite, attaquant à la fois une quantité de terre importante, la déplaçant et l'ameublissant sans à coups, en lui faisant subir le minimum possible de déplacement, en agissant progressivement, en utilisant pratiquement la totalité (2) de l'effort qui lui est transmis directement par l'attelage, sans aucune déperdition intermédiaire (3).

Par contre, la charrue actuelle, si bien adaptée aux moteurs animés, présente, au point de vue du labour par moteurs ina-

---

(1) Ainsi par exemple, en bêchant un terrain très compact, si l'on veut agir brusquement pour détacher un prisme de terre et le retourner, il faut faire un effort plus considérable que si on opère doucement. Il serait d'ailleurs à désirer que des essais soient entrepris en vue de rechercher l'influence de la vitesse de déplacement des outils sur la résistance du sol.

(2) En admettant, bien entendu que la charrue est disposée de manière à réduire au minimum les pertes d'énergie évitables.

(3) Je rappelle ici que l'effort de traction nécessaire (variant de 35 à 100 kg.) par décimètre carré de section du prisme de terre travaillé peut être évalué en moyenne à 50 kg., correspondant à une quantité d'énergie de 50 kilogrammètres par mètre carré et par centimètre de profondeur de labour, ou environ 3 ou 4 fois la quantité d'énergie nécessaire pour élever cette quantité de terre de 1 mètre de haut.

J'ai montré à Marseille que, comme première approximation (donnant des chiffres un peu trop forts pour les labours profonds) on pouvait admettre, comme effort de traction en kg. E par soc, pour une profondeur de labour de p centimètres,

$$E = {}^2/_3\, p^2.$$

nimés, de graves inconvénients qui justifient les tentatives faites pour la remplacer par d'autres outils mieux adaptés à ces moteurs.

Un matériel de culture mécanique du sol comportant des appareils dont le prix est élevé, comparativement à celui des charrues actionnées par moteurs animés, ne peut, étant donnés les frais élevés de tous genres qu'il comporte par jour de fonctionnement (intérêt, amortissement, entretien, personnel spécial), conduire à des résultats économiquement acceptables que s'il travaille par jour une certaine étendue, supérieure de beaucoup à celle que labourerait une charrue à traction animale.

L'expérience acquise jusqu'ici a montré qu'à ce point de vue on ne pouvait guère employer de moteurs de moins de 40 à 50 chevaux environ. D'autre part, la vitesse de la charrue ne pouvant guère dépasser notablement 1^{m} à $1^{m}20$ par seconde, il s'ensuit que, pour utiliser le moteur, il faut appliquer à la charrue un effort qui est normalement de 2000 à 2500 kg. et qui peut être momentanément dépassé de beaucoup.

Le moteur doit donc demander au sol sur lequel il prend appui une réaction au moins équivalente à cet effort de traction.

Difficultés d'ancrage.

Or, à ne compter que sur l'adhérence simple, on en arriverait à des poids absolument excessifs, étant donné que les labours s'effectuant souvent à l'automne, par temps pluvieux ou humide, le coefficient d'adhérence tombe parfois très bas, surtout dans les terres argileuses (et cela malgré les saillies dont on peut garnir les jantes des tracteurs, et qui, se remplissant rapidement de terres et de débris, finissent très vite par ne plus servir à rien), d'autant plus qu'un appareil assez lourd pour agir par adhérence seule exigerait pour son seul déplacement, surtout en terre détrempée, un effort excessif, sans compter qu'il commencerait, même avec des roues larges, par comprimer la terre qu'il s'agit précisément d'ameublir.

La seule solution pratiquement possible est donc de hâler la charrue au moyen d'un câble tiré par un treuil ancré au sol en dehors (ou sur le bord) du terrain à labourer.

Mais ici une autre difficulté se présente. La charrue agis-

sant en traçant des raies rectilignes, il est indispensable, à chaque bout de raie, de déplacer le treuil, ou tout au moins le point d'appui du cable, d'une quantité correspondante à la largeur du travail de la charrue, avant de pouvoir commencer la raie suivante.

Un moyen simple de résoudre cette difficulté consiste à mettre un treuil à chaque bout de raie, à chaque lisière du champ à labourer, et, en employant une charrue à bascule placée entre les deux treuils et susceptible de fonctionner alternativement dans un sens et dans l'autre, de la faire tirer tantôt par un treuil tantôt par l'autre, le treuil n'agissant pas se déplaçant dans l'intervalle de manière à gagner la largeur du double passage de la charrue (Système Fowler).

De plus, en donnant aux treuils un poids suffisant, on arrive ainsi à avoir un système qui fonctionne bien. Quand il s'agit de matériel à vapeur, chaque treuil, comportant en outre sa machine à vapeur locomobile (qui est en même temps une locomotive routière) est généralement assez lourd pour que tout ancrage supplémentaire soit inutile.

On a ainsi un matériel robuste, mais d'un poids énorme, et de prix très élevé, qui, somme toute, n'est utilisé que la moitié du temps.

Avec un matériel plus léger (par exemple des treuils à pétrole ou électriques) la seule adhérence due à leur poids ne suffit plus et il faut l'augmenter par des ancrages (roues à disques tranchants, griffes, plaques et bêches d'ancrage, etc.).

On tombe alors sur des difficultés d'un autre ordre: il faut en effet à chaque passage de charrue déplacer le treuil ou les points d'ancrage. Comme il s'agit de résister à des efforts de plusieurs milliers de kilos, on voit à quelles dimensions d'ancrage on peut se trouver entraîné, sans parler des difficultés de toutes sortes qui résultent de ces déplacements constants malgré les dispositifs ingénieux adaptés dans nombre de cas.

Si pourtant les ancrages tenaient bien, il n'y aurait peut être que demi mal; mais bien souvent il n'en est pas ainsi, et les ancrages lâchent plus ou moins.

Or, à quoi tiennent ces difficultés? Tout simplement à ce qu'on cherche à réaliser l'ancrage dans le sol arable lui-même, c'est-à-dire dans une terre meuble, souvent plus ou moins détrempée, et par suite dans des conditions extrêmement défavorables à la bonne tenue des ancrages malgré tous les perfection-

nements de détail qu'on s'ingénie à y apporter (1). et qui ne peuvent remédier aux défauts de la matière même sur laquelle on veut s'appuyer.

Prenez de la terre arable (même pas trop humide) et travaillez-la avec un outil quelconque: au début elle offre une certaine consistance: après un certain temps de trituration c'est de la bouillie presque inconsistante. Comment s'appuyer dessus? Bien certainement, dans des conditions ordinaires certains ancrages peuvent tenir; on peut même admettre qu'il en existe pouvant tenir dans *presque tous les cas*; mais pour avoir un outil sur lequel on puisse compter il est indispensable que son ancrage tienne dans *tous le cas* où la terre n'est pas tellement détrempée qu'on ne puisse la labourer.

Or prenons pour exemple un treuil développant normalement un effort de 2000 kg. correspondant à une section de terre travaillée de 40 décimètres carrés environ (en supportant une résistance moyenne de 50 kg. par dm^2). Il faut bien admettre que momentanément, par suite d'irrégularité de marche, variation de résistance du sol, élasticité du cable, etc., l'effort de traction peut être momentanément doublé. Qu'advient-il alors de l'ancrage, qui, lui, est dans la terre meuble? Si c'était une charrue, elle serait capable, à cet instant de travailler une section double de la section du travail normal soit 80 dm^2.

Les plaques ou griffes d'encrage sont bien disposées de ma-

(1) On a émis parfois cette opinion que la bêche de crosse des canons tenant bien, il n'y avait pas de raison pour que la bêche de crosse ou les autres dispositifs d'ancrage des treuils ne tiennent pas non plus. La comparaison n'est pas tout à fait exacte: dans le canon, l'effort est pratiquement instantané, dans le treuil il est continu: étant donné le mode de réaction du sol, que j'ai expliqué précédemment, la durée d'action de l'effort ayant une importance capitale, on voit immédiatement que l'effort continu du treuil, plus ou moins saccadé, est beaucoup plus préjudiciable à la bonne tenue de l'ancrage que les efforts instantanés du canon.

Il est d'ailleurs vraisemblable que l'ancrage par un treuil à vapeur genre Fowler est meilleur que par un appareil plus ramassé, parce que l'ensemble du treuil, de la chaudière et des roues, constitue, entre le câble et les points d'appui sur le sol, une sorte d'intermédiaire qui amortit l'effet des secousses du câble sur les ancrages, aussi bien par son inertie que par son élasticité, tandis que dans un chariot d'ancrage de faible poids l'effort se transmet beaucoup plus directement aux points d'ancrage.



nière à présenter une plus grande résistance, par décimètre carré, que les charrues, mais une telle plaque ou griffe, placée dans un sol détrempé, tirée et secouée par le câble pendant la durée du tracé d'un sillon de plusieurs centaines de mètres de long a toute espèce de chance de s'arracher (1).

La conclusion *actuelle* qui s'impose, comme solution générale du problème du labourage ou plus exactement de la culture du sol, c'est donc qu'il faut renoncer résolument aux ancrages dans la terre meuble, pour faire des ancrages sur voies fixes, ou plus exactement pour employer des treuils se déplaçant sur des voies fixes, sur lesquelles ils prennent appui pour résister aux efforts de traction.

Dans cet ordre d'idées, il semble qu'on pourrait utiliser les travaux déjà faits pour les appareils de touage sur les canaux, appareils qui doivent exercer des efforts de traction tels qu'il est presque toujours impossible que l'adhérence due à leur poids seul soit suffisante.

Bien entendu toutes ces considérations reposent sur ce fait que, jusqu'à présent on n'a pas encore trouvé d'outil susceptible de produire un travail pratiquement équivalent à celui de la charrue, avec une dépense d'énergie qui ne soit pas notablement supérieure à celle de cette dernière, tout en agissant sans avoir besoin de recourir à un ancrage quelconque.

Plusieurs solutions sont possibles à ce sujet, et j'en vois même plusieurs qui n'ont pas encore été essayées. Peut être dans la quantité s'en trouve-t-il une qui soit satisfaisante. Il est probable notamment que l'outil rotatif, agissant autrement que sous

---

(1) Pour être fixé, à ce sujet il serait d'ailleurs intéressant d'avoir la solution du problème suivant, que je me permets de poser aux constructeurs de treuils de labour avec ancrage dans le sol:

" Quel devrait être le rapport entre la section du prisme de terre labouré,
" d'une part, et, d'autre part, la surface d'appui des appareils d'ancrage dans
" le sol pour que, pendant le labourage d'une raie de la plus grande longueur
" qu'il est possible de labourer avec le treuil en question, on ait la certitude
" que l'ancrage ne se déplacera pas de façon appréciable, dans un sol dé-
" trempé juste au-dessous de la limite à partir de laquelle le labour devient
" impossible ".

Je crois qu'on serait surpris de la valeur élevée du rapport auquel on arriverait ainsi et qui conduirait à des dimensions d'ancrage inapplicables dans la plupart des cas.

l'action d'un effort de traction, deviendra à bref délai un concurrent sérieux et peut être même victorieux de la charrue actuelle, tout au moins en ce qui concerne la culture mécanique. Mais pour en rester toujours sur un terrain pratique et discuter seulement des faits et non des hypothèses je ne m'occuperai dans ce qui suit que des résultats obtenus avec des charrues fonctionnant de la manière ordinaire.

Labourage électrique.

Les considérations précédentes s'appliquent à tous les appareils de labourage mécanique quel que soit d'ailleurs le genre du moteur. Si maintenant nous voulons étudier plus particulièrement le labourage électrique, nous voyons que, à diverses reprises, des constructeurs ont établi des treuils de labourage électrique et des installations ont été faites, dont l'une, exécutée dès 1895 par exemple chez Mr Félix Prat (1), fonctionnerait encore à l'heure actuelle. On pourrait peut-être citer une ou deux installations en France, en Algérie et Tunisie, mais dans l'ensemble on peut dire que le labourage électrique n'a pris aucun développement notable en France (2) pas plus d'ailleurs qu'en Allemagne, où, malgré les efforts faits par divers constructeurs, il n'existerait guère qu'une douzaine de matériels de labourage électrique (3). Il est probable, de plus, que sur ce nombre bien peu fonctionnent régulièrement.

Des essais en Autriche et en Italie (4) ne paraissent pas non plus avoir provoqué aucun mouvement vers le labourage électrique. On peut donc dire que dans l'ensemble, celui-ci n'a reçu aucun développement (5).

---

(1) " Journal d'Agriculture Pratique ", 1895, tome II, page 329 à 376. M. Max Ringelmann.

(2) " Génie Civil ", 1903, tome 43, page 257; 1908, tome 53, page 19; 1909, tome 55, page 38.

(3) E. T. Z., Hermann Oster, 19 janvier 1911. Voir aussi Kurt Krohne, E. T. Z., 1908, n. 39, 40, 41.

(4) Louis Petri, " Journal d'Agriculture Pratique ", 1894, tome II, page 856.

(5) C'est dire que les renseignements précis sont rares. Voici cependant quelques données sur l'installation de Mr Prat (Mr Ringelmann).

Dans cette installation un treuil fixe tire une charrue simple, qui est ra-

Dans ces conditions il semble superflu d'énumérer et de décrire en détail les divers systèmes de treuils électriques ou autres, qui n'ont été réalisés qu'à un très petit nombre d'exemplaires, et le plus souvent sont restés à l'état d'unités isolées, parfois même à l'état de projet ou de brevets (1) comme d'ailleurs bon nombre d'outils de culture rotatifs actionnés par divers moteurs, dont les conceptions ont vu le jour dans ces dernières années (2).

D'ailleurs en France le labourage mécanique n'a guère reçu d'application, non pas à cause de l'état d'esprit des agriculteurs

---

menée à vide. La profondeur du travail est de 0m.60, sa largeur 0m.50 et sa section 30 dm^2. La vitesse de travail est très faible: 0^m45 par seconde.

Le moteur absorbe en marche normale 13 kw.

La superficie travaillée par jour est de 0h. 33 ares seulement, tandis que les matériels à vapeur ordinaires ne travaillent guère moins de 3 hectares par jour, soit 10 fois plus. Nous sommes ici dans un cas anormal; la charrue étant simple, le temps perdu est considérable puisque le retour se fait à vide: ainsi, le temps nécessaire pour faire une raie de 200 m. de long est de près d'un quart d'heure, se décomposant comme suit:

labour	7 minutes	30 secondes
arrêt et basculage de la charrue	2 „	
retour à vide	2 „	20 „
arrêt et basculage de la charrue	2 „	
Total	13 minutes	50 secondes

La quantité d'énergie absorbée par hectare labouré à 60 cm. est de 400 kwh. par hectare, soit, par hectare labouré à 1 cm. de profondeur (en supposant la résistance du sol constante), de 6 kwh. 5, soit encore pour un labour à 25 cm. de profondeur, de 160 kwh. environ, chiffre absolument excessif, admissible seulement dans ce cas particulier, parce que l'énergie est fournie par une chute d'eau inutilisée.

(1) On peut toutefois citer, notamment, en France les treuils de Mrs Bajac, Fillet, Riester; ce dernier inventeur a d'ailleurs combiné dernièrement un outil rotatif de conception fort ingénieuse: on trouvera la description de ces divers appareils notamment dans le " Génie Civil ", août 1911. Voir également le " Journal d'Agriculture Pratique ".

En Allemagne, les divers systèmes essayés dans ces dernières années ont fait l'objet d'une étude descriptive dans la remarquable série d'articles publiés par Mr K. Krohne dans E. T. Z. en 1908 (numéros 38 à 41).

Mr Bogha Pacha Nubar a également inventé et construit un appareil de culture électrique, mais rotatif, fort intéressant. " Génie Civil ", 1900.

(2) Voir notamment le " Génie Rural " (anciennement Automobile agricole).

mais pour des raisons économiques: prix élevé du charbon, et surtout faible étendue relative des propriétés, qui suffit pour expliquer que dans la grande majorité des cas le labour par traction animal revient moins cher que par moteur mécanique.

Cependant, depuis quelques années, notamment, on voit se dessiner un mouvement en faveur du labourage mécanique. C'est ainsi que deux syndicats se sont créés dernièrement, à Lieusaint et Senlis, pour faire du labourage en commun avec des matériels dont ils ont fait l'acquisition (treuils locomobiles de 90 chevaux pouvant, paraît-il, labourer 10 hectares par jour à 30 centimètres de profondeur).

En Allemagne par contre, du moins dans les pays de grande propriété, le labourage à vapeur par appareils genre Fowler est entré depuis longtemps dans la pratique courante (533 matériels en 1909 avec 1028 treuils) (1).

Les charrues utilisées avec ces appareils à vapeur pouvant être employées telles quelles avec les treuils électriques, et d'autre part, certains treuils, notamment ceux du système Howard, pouvant conserver les mêmes dispositions, qu'ils soient actionnés par moteur électrique ou à vapeur, l'expérience acquise avec ces derniers appareils peut être utilisée dans l'établissement des matériels de labourage électrique (2).

Néanmoins, bien que les appareils à vapeur soient nombreux, les résultats d'essais effectués avec soin sont assez rares.

En ce qui concerne les appareils du genre Howard je me bornerai à renvoyer au rapport extrêmement complet et précis de Mr Max Ringelmann, directeur de la Station d'Essais de Machines Agricoles du Ministère de l'Agriculture, sur les essais effectués par lui en 1901 au Plessis dans le département de l'Indre, et je ne mentionnerai que les résultats d'essais effectués par Mr J. Rezek (3) avec un appareil Fowler et qui correspondent à des conditions moyennes pour ce genre d'appareils:

---

(1) E. T. Z., 19 janvier 1911. Hermann Oster.

(2) Voir notamment les ouvrages d'Alfred Tresca et de Debains, ce dernier surtout, ainsi que ceux de Mr Ringelmann.

Il ne faut pas oublier que les machines à vapeur, surtout celles des treuils de labourage, sont susceptibles de développer momentanément des puissances bien supérieures à leur puissance de régime. En réalité, leur puissance est limitée par la puissance de vaporisation de la chaudière.

(3) " Génie Civil ", tome 47, 2e semestre 1905; 26 mai 1905.

Longueur des raies	400 mètres
Temps nécessaire pour une raie . .	6 minutes
Arrêt à chaque bout de raie. . . .	1 minute 1/2
Temps total par raie. . .	7 minutes 1/2

Vitesse de marche . . . . $\frac{400}{360}$ =	$1^m,10$ par seconde
" " " effective . . .	$0^m,90$ " "
Largeur labourée d'un seul coup	$1^m,20$
Nombre de socs.	3
Profondeur du labour	40 cm.
Section du labour	48 dm^2
Effort de traction sur le câble	2550 kg.
" " par décimètre carré de section de labour	53 kg.

Les treuils à vapeur employés en Allemagne (1) sont d'une puissance moyenne de 55 chevaux avec une surface de grille de $0^{m2},65$ et une surface de chauffe de $19^{m2},50$ (2).

A titre de renseignement, et bien qu'il s'agisse ici de moteurs à pétrole, je reproduis un tableau relatif à des essais de tracteurs pour labourage, effectués à Winnipeg (Canada) en juillet 1909, extrait d'un article de Mr Coulmain (3). Ce tableau contient des indications intéressantes, bien qu'il s'agisse d'appareils labourant à une profondeur qui n'était pas indiquée par le compte rendu des essais, et des largeurs variant de $0^m,70$ à près de 5 mètres (avec, dans ce dernier cas, des charrues à plusieurs socs, pour mieux suivre les ondulations du sol).

Dans ces derniers cas, les tracteurs employés étaient à vapeur.

---

(1) E. T. Z., 1911. H. Oster, page 61.

(2) D'après Mr Saillard le labour, pour la culture des betteraves (30 à 32 cm. de profondeur, dans les terres fortes, 25 à 30 dans les terres légères), coûterait en Allemagne de 45 à 60 fr. par hectare, non compris le charbon ni l'approvisionnement d'eau. Ces conditions sont d'ailleurs à peu près celles du Syndicat de Soissons, qui, avec un matériel comportant 2 treuils locomobiles de 90 chevaux chacun, pourrait labourer 10 hectares par jour, au prix de 50 fr.; à 30 cm. de profondeur (" Bull. des Agriculteurs de France ", 1911, 2e semestre, page 115).

(3) " Génie Rural " (Automobile agricole), 58, Bd Voltaire, Paris, août 1909.

CATÉGORIES	CONSTRUCTEURS	Puissance: Nominale	Puissance: Effective	Roues motrices: Diamètre	Roues motrices: Largeur	Largeur totale aux roues arrières	Vitesse en km. à l'heure	Capacité du réservoir de combustible	Capacité du réservoir d'eau	POIDS: Total	POIDS: Aux roues arrières	ESSAIS DE LABOURAGE: Charrues: Nombre de socs	ESSAIS DE LABOURAGE: Charrues: Largeur des sillons	Hectares labourés	Temps de labourage en minutes	Traction moyenne	Eau consommée	Combustible consommé	Consommation de combustible par hectare
		HP	HP	m/m	m/m	Mètres		litres	litres	kilos	kilos		m/m	Hectares		kilos	litres	litres	Lit. par hectare
Moteurs à Combustion interne au-dessous de 20 HP	International Harvester C°	15	19.5	1.422	560	2m290	3.6	111.0	257.5	4.455	3.195	3	305	0.44	75 1/2	679.5	36.25	6.28	16.5
	Avery C°	12	36	1.041	203	2 210	2.4	88.8	33.3	2.250	1.035	2	355	0.42	85	612	1.55	15.85	37.0
	Marshall Sons & C°	12	30	1.981	460	2 800	4.2	133.2	240.0	6.525		5	355	0.64	103	1.327		34.90	53.9
Moteurs à Combustion interne de 20 à 30 HP	Russell & C°	20	44	1.475		2 740		186.5	315.2	7.717	5.710	4	355	0.68	121 1/2	990		35.20	51.2
	International Harvester C°	20	28	1.776	510	2 565	4.0	111.0	257.5	6.075	4.320	4	355	0.87	117	1.282.5	47	23.13	26.4
	Kinnard Haines C°	30	45	2.135	460	2 460	4.4	115.4	799.5	6.300		6	355	1.03	101	1.631	28.8	27.26	26.5
	International Harvester C°	20	28	1.778	460	2 030	3.84	111.0	240.0	5.625	4.050	4	355	0.68	84 1/2	1.215		20.29	29,5
	d° d°	20	28	1.626	560	2 590	4.0	111.0	257.5	5.670	4.230	4	355	0.68	91 1/2	1.395	44.4	19.04	27.7
Moteurs à Combustion interne au-dessus de 30 HP	International Harvester C°	35	45	1.905	460		5.6	239.7	430.6	9.000	6.300								
	Gas Traction C°	25	35	2.440	460			164.3		6.120	4.050	6	355	0.51	44 1/4	2.362		21.26	41.4
	Marshall Sons & C°	25	60	1.981	610	3 125		270.9	350.7	9.900	7.456	8	355	1.03	71	2.475		42.66	41.4
	Kinnard Haines C°	40	60	2.440	610	2 830		177.6	1.287.6	8.325		8	355	1.37	99	2.221		37.42	27.2
	International Harvester C°	25	30	1.830	460		4.0	164.3	315.2	7.650	5.580								
								Kgs de charbon										kgs	kgs
Machines à Vapeur	J. I. Case C°	32	110	2.135	914	3 912	3.79	1.135	1.354.2	18.117	14.562	12 1-3 11 2-8	355	1.45	62	4.185	1.545	198	135
	M. Rumely C°	36	120	2.135	1.016	3 660	3.72	635	1.776.0	16.650		14	355	1.73	75	4.437		261	152
	Marshall Sons & C°	25	60	1.905	760		3.6	388	888.0	11.700	7.650								
	Russell & C°	30	60	2.135	914	3 400	4.0	397	1.998.0	17.293	8.694	10	355	1.28	76	3.330	2.086	204	158
	Avery C°	30	90	2.032	660	3 555	4.19 5.04	1.225	1.420.0	18.387	14.004	10 2-9 8 7-9	355	1.61	72	3.555		229	140

On remarquera d'une part, les différences notables entre la puissance nominale et la puissance réelle de ces appareils (1), ainsi que les dimensions considérables des roues motrices atteignant 2 mètres de diamètre, avec un mètre de largeur de jante, dimensions indispensables pour des appareils dont le poids atteint 16 à 18 tonnes, dont la presque totalité sur l'essieu arrière (14 tonnes).

b) *Travaux d'intérieur de ferme.*

Dès 1879 MM[rs] Chrétien et Felix à Sermaize ont fait du battage électrique et en 1881 William Siemens avait équipé électriquement une petite ferme (2).

Depuis cette époque, les applications aux travaux d'intérieur de ferme se sont multipliées, et sont entrées maintenant dans la pratique courante (3).

Ces travaux peuvent être classés en deux catégories:

1° battage;

2° autres applications, principalement préparation de la nourriture du bétail.

Battage.

L'antique procédé qui consistait, pour séparer le grain de la paille, à battre les céréales sur une aire, a presque complètement disparu depuis longtemps devant la machine à battre.

Une machine à battre comporte essentiellement un tambour animé d'un mouvement de rotation rapide, entouré sur une partie de sa circonférence par un contrebatteur fixe, placé à faible distance, les deux organes étant munis de battes en saillie. En engageant les gerbes (en les engrenant) dans l'étroit passage libre entre ces deux organes, les épis sont froissés, brisés, et laissent échapper le grain qu'ils contiennent.

A la sortie du batteur, on reçoit donc un mélange de paille

(1) Ce fait montre l'utilité de *Règles générales pour l'essai des appareils agricoles*. Congrès d'Agriculture de Vienne, 1907. Volume II, Section III (Rapport de M[r] le Professeur Rezek), imprimerie Johann Vernez, Vienne.

(2) " Bulletin Société des Ingénieurs Civils de France ", 1881, tome II, page 220.

(3) M[r] Coupan, chef des Travaux Pratiques à l'Institut Agronomique à Paris, m'a fourni de très utiles indications sur cette partie de mon sujet, ainsi que M[r] Petit (MM[r] Petit et Collard). Je les en remercie très vivement.

Voir aussi l'ouvrage de M[r] Petit sur l'électricité agricole.

froissée et de grains plus ou moins bien séparés de leurs enveloppes, ainsi que des débris d'épis.

Afin de recueillir séparément la paille sans grains et d'autre part le grain propre, séparés de toutes malpropretés, déchets, débris, etc., il faut adjoindre au batteur, organe essentiel, divers appareils de nettoyage (généralement par ventilation) et de reprise des épis (hotons) ayant échappé à un premier passage.

Une machine à battre, pour livrer du grain marchand, comporte donc tout un ensemble assez compliqué. Habituellement, tous les organes qui la constituent sont montés sur un bâti commun avec des roues permettant de le transporter facilement (batteuses portatives), mais il existe aussi des installations fixes (généralement de très petite puissance).

La batteuse portative est généralement destinée à aller de ferme en ferme, surtout quand elle est exploitée par un entrepreneur, comme c'est le cas dans les pays de petite et de moyenne culture.

Dans ces conditions il est indispensable (étant donné d'ailleurs que les agriculteurs veulent pouvoir disposer de leur grain le plus tôt possible après la moisson) que les battages soient effectués rapidement quitte à employer un personnel nombreux, jusqu'à 15 personnes et davantage, l'entrepreneur ne fournissant généralement que les conducteurs des appareils, et les agriculteurs se chargeant du reste du personnel, allant chez les uns et chez les autres.

Cette manière de procéder est employée surtout dans les régions de moyenne culture et là où le temps est généralement assez beau après la récolte pour qu'on puisse battre en plein air.

Dans d'autres cas au contraire on met à l'abri toute la récolte et l'agriculteur la bat à temps perdu, notamment pendant le mauvais temps.

Dans ce cas il lui faut une machine pour lui tout seul, qui n'a donc pas besoin d'être mobile. De plus cette machine doit être de petite puissance, d'abord pour en réduire le prix, en second lieu parce qu'une plus grande serait inutile, faute de personnel suffisant, l'agriculteur devant dans ce cas se contenter du personnel normal de son exploitation, et enfin parce que ces petites batteuses doivent être actionnées le plus souvent par manège au moyen des animaux de la ferme.

Les commandes des divers organes de la batteuse sont gé-

néralement prises sur un arbre commun (celui du tambour batteur) qui reçoit directement son mouvement d'un moteur indépendant de la batteuse par une courroie.

Pour faire du battage électrique avec une batteuse ordinaire, il n'y a donc rien à y changer, et il suffit de remplacer un moteur par un autre.

On a pensé à combiner le moteur à la batteuse de manière à n'avoir qu'un seul appareil, motobatteuse.

On fait des motobatteuses à pétrole et même électriques.

Jusqu'à présent, cette solution ne paraît pas avoir donné de bons résultats et ce, pour les raisons suivantes:

Le matériel de battage portatif ayant souvent à passer par de mauvais chemins, il est bien préférable pour le transport d'avoir séparément une batteuse, et un moteur de poids moyen, plutôt qu'une lourde motobatteuse.

D'autre part, le battage dégage une poussière abondante; pour le bon fonctionnement du moteur il vaut donc mieux l'écarter de la batteuse que de le placer dedans (ce qui augmente les risques d'incendie).

Un moteur isolé est plus facile à surveiller et à maintenir en bon état: il peut être utilisé à un autre emploi que le battage.

La présence d'une longue courroie, intermédiaire élastique entre le moteur et la batteuse, amortit l'action des surcharges brusques inévitables, résultant de l'alimentation irrégulière de la batteuse et des bourrages qui se produisent fréquemment, étant donné que l'alimentation se fait à la main.

Toutefois, avec le moteur électrique, ces divers inconvénients de l'attaque directe peuvent être atténués et il semble possible d'arriver à un résultat admissible en calant directement le moteur sur l'arbre du tambour batteur, à condition d'employer un bâti plus rigide que les bâtis ordinaires, et de monter le rotor du moteur en porte à faux sur l'arbre de manière à n'avoir toujours que deux paliers pour l'ensemble: tambour, batteur et moteur (et non pas trois, qui produiraient infailliblement des vibrations excessives avec un arbre rigide).

Autrement il faudrait couper l'arbre, et placer le moteur sur une console extérieure, avec un accouplement plus ou moins flexible et deux paliers.

Cette dernière solution aurait d'ailleurs l'inconvénient d'augmenter la largeur de la batteuse d'une manière excessive. Aussi la première semble-t-elle préférable (mais à la condition d'avoir

un bâti plus solide que les bâtis ordinaires), surtout en la combinant avec la commande individuelle des divers appareils par moteur séparés. On pourrait ainsi faire varier leurs vitesses respectives suivant l'état de la récolte à battre, ce qu'on ne peut songer à faire avec la commande unique actuelle.

Le nombre des installations de batteuses à moteurs électriques étant déjà considérable, les données expérimentales sont suffisamment nombreuses.

Les batteuses portatives se construisent pour une puissance de locomobile d'environ 5 chevaux (à vapeur) pouvant battre environ 250 gerbes (1) à l'heure, soit un poids de récolte d'environ 2500 à 3000 kg., donnant un tiers de grain environ suivant la nature des céréales (ces chiffres étant, bien entendu, susceptibles de varier suivant les conditions particulières).

Cette batteuse est surtout destinée aux agriculteurs cultivant de grandes exploitations, 150 à 200 hectares, et qui veulent terminer leurs battages rapidement.

Les entrepreneurs de battage, afin de pouvoir passer une plus grande quantité de récolte par jour, n'emploient guère de batteuses de puissance inférieure à 6 chevaux (pour passer 300 à 330 gerbes à l'heure). Pour certaines grosses batteuses, ces chiffres sont beaucoup dépassés.

Avec le premier type de batteuse, l'organe mobile ou batteur est un cylindre d'1^m 600 de long; toutes les batteuses françaises ont cette dimension, nécessaire au battage en travers, qui a pour but d'éviter de briser la paille, ce qui arrive avec les batteuses en long, dans lesquelles l'alimentation se fait en passant les gerbes perpendiculairement à l'axe du batteur et non plus parallèlement à cet axe, comme dans le battage en travers.

Le batteur n'a guère moins de 450 $^m/_m$ de diamètre extérieur, il pèse environ 150 kgs. et tourne à 900 tours.

D'autre part la batteuse est complétée, comme on l'a vu, par des organes de nettoyage, secouage, etc.

---

(1) Le poids des gerbes est assez variable, il est habituellement de 5 à 8 kg. environ.

On peut admettre que le rapport du poids de grain au poids total des gerbes, assez variable aussi, est d'environ $^1/_3$ pour le blé et le seigle, 0,40 pour l'avoine, 0,43 à 0,45 pour l'orge.

Le poids d'un hectolitre de grain est environ de 50 kg. pour l'avoine, 80 pour le blé.

Des essais de consommation faits sur une machine du premier type indiqué (G. Coupan) ont donné les résultats suivants (1).

Désignation des appareils en fonctionnement.	Puissance nécessaire valeurs moyennes	valeurs extrêmes.
1° Batteuse à vide		
Batteur seul	2 kw.	(1,5 à 2,5 kw.)
Batteur et ventilateur . . .	2 „ 5	(1,9 à 3,0 „)
Batteur, ventilateur, trémies	2 „ 8	(2,1 à 3,4 „)
Batteur, ventilateur, trémies, secoueur	3 „ 5	(3,0 — 4,0 „)
Batteur, ventilateur, trémies, secoueur, double nettoyage	3 „ 8	(3,2 — 4,3 „)
2° Batteuse en travail à l'allure de 200 gerbes à l'heure .	4 „	(3,0 — 4,8 „)

Il résulte de ces essais que:

1° Le batteur est l'organe qui demande le plus de puissance: ensuite vient le secoueur (mouvement alternatif).

2° La consommation est à très peu près la même à vide (tous les appareils fonctionnant) qu'en charge.

Bien entendu, les chiffres ci-dessus sont des moyennes; toutefois, pendant la marche à vide, les écarts de part et d'autre des valeurs moyennes indiquées sont faibles.

Pendant la marche en charge, les variations sont plus considérables (3 — 4,8 kw.) et peuvent le devenir encore plus en cas de bourrage.

Dans les conditions de cet essai, l'énergie consommée par 100 kg. de grain correspondrait à environ 7 à 800 watts-heure.

Cette quantité, fort élevée (nous verrons plus loin des chiffres

---

(1) Les chiffres de consommation indiqués ici, comme d'ailleurs tous ceux qui seront donnés ultérieurement (sauf indication contraire), représentent les quantités d'énergie fournies aux moteurs, et englobent par conséquent toutes les pertes (rendement des moteurs, des transmissions, etc.), faute de résultats d'essais permettant de déterminer les puissances nettes absorbées par les appareils.

D'ailleurs, ce qui importe surtout à l'agriculteur, comme du reste aux producteurs de courant, c'est la puissance totale nécessaire pour effectuer une opération donnée, c'est-à-dire précisément les indications qui sont données ici.

inférieurs), provient d'une part de ce que le moteur un peu fort pour la batteuse (8 kw. 5) ne marchait pas à sa pleine charge et, d'autre part, de ce que la batteuse ne recevait pas non plus autant de gerbes qu'elle aurait pu en battre normalement.

Suivant la nature des grains, l'état de la récolte, les quantités d'énergie nécessaires varient beaucoup. Elles peuvent atteindre des chiffres véritablement excessifs, pour peu que l'alimentation soit trop lente, pour la raison toute simple que la batteuse absorbe presque autant à vide qu'en charge.

C'est ainsi que dans un cas particulier où l'on ne passait que 70 gerbes à l'heure au lieu de 200 ou 250, la batteuse prenait à vide 2 kw. 34 et en charge 2 kw. 67, ce qui faisait, tout compte fait, ressortir la consommation aux environs de 2 kwh par 100 kg. de grain.

Par contre une batteuse fixe a passé à l'heure 1700 kg. de gerbes d'avoine (donc 700 kg. de grain) en absorbant seulement 450 à 500 watts heure par 100 kg.

De même une petite batteuse à manège, de 2 chevaux, transformée pour être actionnée électriquement, absorbait environ 1,7 à 1,8 kilowats, en fonctionnant avec des gerbes de 8 kg. l'une (donnant $^1/_3$ de grain) pour produire 413 kilos de grain à l'heure, soit 420 watts par 100 kg.

Une autre petite batteuse a absorbé 1 kw. 9 à vide et 2 kw. 7 en charge pour passer 1700 kg. de gerbes à l'heure, consommant ainsi environ 450 watts heure par 100 kg. de grain.

Au contraire une batteuse à grand travail, à nettoyage plus complet absorbait 6 kilowatts pour passer 2100 kg. de récolte, ce qui correspondait à 7 à 800 watts heure par 100 kg. de grain. Même dans certains cas les petites batteuses accusent des consommations encore plus considérables. Une batteuse passant à l'heure 1000 kg. de gerbes, c'est-à-dire produisant environ 3500 kg. de grain, a absorbé 3 kw. 4 soit environ 900 watts heure par 100 kg.

En résumé on ne peut guère, avec une petite batteuse passant de l'avoine, compter moins de 300 watts heure par 100 kg., tandis qu'avec du blé ou du seigle avec une batteuse à nettoyage perfectionné cette quantité pourra atteindre 7 à 1000 wh., de telle sorte qu'en moyenne il semble qu'on puisse compter en général comme première approximation sur environ $^2/_3$ de kwh., au moins, par 100 kg. de grain battus.

La puissance unitaire desmo teurs employés est très variable,

depuis 2 chevaux pour les batteuses fixes jusqu'à 20 chevaux pour les batteuses à grand travail (avec presse à paille généralement); il semble pour les appareils ordinaires qu'il faille prévoir un moteur de 3 à 4 chevaux pour les batteuses fixes et de 10 chevaux pour les batteuses portatives courantes, correspondant aux locomobiles à vapeur de 5 à 6 chevaux.

Les batteuses démarrant sans charge, les à coups ne sont pas tant à redouter au démarrage que pendant le fonctionnement même au moment des bourrages causées par une alimentation irrégulière ou trop abondante.

Autres travaux d'intérieur de ferme.

Pour une partie des produits agricoles, notamment pour le blé, le travail de l'agriculteur est terminé après la récolte et le battage.

Il n'en est pas de même pour ceux qui servent à la nourriture des animaux de la ferme.

Dans ce dernier cas en effet, il faut emmagasiner ces produits à l'abri des intempéries, et les reprendre journellement pour les faire consommer aux animaux de la ferme, après leur avoir fait subir une préparation convenable.

On voit donc que, indépendamment de cette préparation, il y a lieu de procéder à une manutention de ces produits d'abord pour les emmagasiner, ensuite les amener aux appareils de préparation, et finalement les distribuer aux animaux.

Jusqu'à présent cette partie des travaux de la ferme a été complètement négligée; elle se fait à bras d'hommes ou par des moyens primitifs, et les seules applications mécaniques réalisées ont été à la commande des appareils de préparation de la nourriture dont l'emploi, relativement récent, se répand de plus en plus.

On a constaté en effet depuis longtemps que les aliments distribués aux animaux étaient beaucoup mieux, et plus complètement assimilés quand ils étaient coupés, concassés ou broyés que lorsqu'on leur les donnait entiers, et on a construit un certain nombre d'appareils pour effectuer ces préparations (1).

---

(1) Voir les ouvrages de Mr M. Ringelmann sur les *Installations et appareils pour la préparation de la nourriture du bétail* (Librairie agricole, Paris).

Pour beaucoup de ces préparations (concassage, notamment) les quantités d'énergie nécessaires sont trop grandes pour qu'elles puissent être effectuées à la main.

L'introduction du petit moteur électrique (car la majorité de ces appareils demandent de faibles puissances) a donc permis aux agriculteurs d'utiliser ces appareils bien plus fréquemment qu'ils ne le faisaient auparavant et une propagande convenable, comme on le verra plus loin, en développerait encore bien davantage l'emploi d'autant plus que le moteur électrique peut, en plus de la préparation de la nourriture du bétail, être employé dans une exploitation à de nombreux autres usages (1), à l'élévation d'eau notamment, pour le besoin de la ferme, et même pour l'arrosage et éventuellement l'irrigation.

Les appareils de préparation de la nourriture des animaux sont généralement des coupe-racines, hache-paille, concasseurs, aplatisseurs et broyeurs.

Les coupe-racines et les hache-paille sont des appareils à couteaux, peu sujets au bourrage.

Par contre, les concasseurs, broyeurs et aplatisseurs sont des appareils à cylindres ou à disques, et une faible variation de réglage produit de très grandes différences dans la consommation de courant; c'est là un point à ne pas négliger dans la détermination du moteur, comme d'ailleurs pour tous les appareils du même genre.

J'ai d'ailleurs réuni ci-après, un nombre d'indications suffisantes dans la grande majorité des cas, et relatives aux appareils les plus usuels en classant pour plus de commodité les appareils par ordre alphabétique.

---

(1) Il ne semble pas que les petits moulins, préparant la farine pour l'alimentation du personnel de la ferme, soient beaucoup employés. Peut-être, dans certains cas combinés avec le pétrin mécanique, pourraient-ils être avantageux, bien que la tendance paraisse être maintenant de prendre le pain au dehors.



Résultats numériques relatifs à divers appareils agricoles.

Aplatisseurs (v. *Concasseurs*).

Broyeurs d'engrais.

Les engrais chimiques se présentent généralement sous forme de poudre, de grains ou de cristaux. Beaucoup de ces engrais sont hygrométriques, et, étant conservés dans des sacs, s'agglomèrent en blocs plus ou moins gros, qu'il est nécessaire de pulvériser pour permettre leur répartition régulière (ainsi que leur mélange éventuel).

Un broyeur d'engrais, susceptible de broyer par heure 2000 à 2500 kg. environ, absorbe à vide 600 watts et en charge 2600 watts (en travaillant par heure 2100 kg. d'un mélange de 15 % de chlorure de potassium, 30 kg. de sulfate d'ammoniaque, 55 kg. de superphosphate), soit 125 watts-heure par 100 kg. d'engrais.

Broyeur d'os frais.

On donne parfois aux volailles des os frais broyés avec de petits appareils: un de ces broyeurs, pulvérisant 13 kilos à l'heure a consommé, à vide 20 watts et en charge 150 watts, soit 1200 watts-heure par 100 kilos.

Broyeur d'ajonc.

Dans certaines régions, on alimente les animaux avec des ajoncs broyés ou coupés en menus morceaux. Un broyeur d'ajoncs à 6 lames, coupant l'ajonc en morceaux de 7 mm. de long, a consommé à vide 100 watts et 1500 en charge (variant de 500 à 2100) pour produire 360 kg. à l'heure, ce qui correspond a:

420 watts-heure environ (150 à 600) par 100 kg.

Broyeur de pommes.

Produisant 1000 kg. à l'heure, un de ces appareils prenait à vide 200 watts et en charge 500, soit 50 watts-heure par 100 kg., avec des pommes de maturité moyenne.

Brise-tourteaux.

On fait souvent entrer dans la ration des animaux, des tourteaux, ou résidus du traitement des graines oléagineuses. Un broyeur à tourteaux débitant 550 kg. à l'heure a consommé 220 watts à vide et 750 (550 à 950) en moyenne, en charge, ou 150 watts-heure par 100 kg.

Concasseurs-aplatisseurs-Moulins.

Un petit appareil à deux cylindres de 100 mm. de diamètre et 200 mm. de long, tournant à 150 tours, absorbait, en passant seulement 16 kilos d'avoine à l'heure, plus de 200 watts, soit 1000 wats-heure par 100 kg. et à peu près autant en passant 50 kg. de maïs dans le même temps.

Dans des conditions plus favorables, ces chiffres peuvent être très sensiblement réduits:

Par exemple: un appareil à 2 cylindres de 200 mm. de long et de 80 mm. de diamètre, aplatissant de l'avoine, a absorbé 200 watts en passant 70 kg. à l'heure, soit environ 300 watts-heure par 100 kg. ou, avec un concassage plus fin, 350 watts-heure.

Le même appareil a traité 80 kg. de blé à l'heure en consommant seulement 200 watts-heure par 100 kg.

Un aplatisseur d'avoine, de plus grand modèle, de 600 litres à 165 tours, prenait 1100 watts pour traiter 400 litres d'avoine à l'heure, soit 550 watts-heure par 100 kg.

Il faut donc, pour ces appareils à cylindres, compter sur une consommation d'au moins 4 à 500 watts-heure par 100 kg., étant donné d'ailleurs que ces chiffres peuvent être très notablement dépassés avec un mauvais réglage. Il en est d'ailleurs de même pour les appareils à meules. Un petit concasseur à meules de 200 mm. de diamètre à 300 tours, essayé avec du blé et un concassage grossier, passait 50 kg. à l'heure en prenant 300 watts soit 600 watts-heure par 100 kg.

Le même appareil avec les cylindres un peu plus rapprochés donnait encore à peu près le même débit mais avec une consommation de 14 à 1500 watts-heure. Enfin, avec un serrage excessif, le débit tombait à 30-33 litres, avec une consommation de 4500 à 5000 watts-heure par 100 kg.

Un autre concasseur à meules débitait 250 kg. d'orge environ à l'heure en absorbant en moyenne 1800 watts, soit 750 watts-

heure par 100 kg., chiffre qui montait à 1000 pour du seigle avec un autre appareil et retombait avec du maïs à 350 à 400 watts-heure avec un dernier concasseur débitant 300 kg. à l'heure.

D'une manière générale, les petits appareils absorbent proportionnellement plus d'énergie que les gros.

Bien que l'état et la nature des grains aient vraisemblablement une influence sur les écarts observés, il semble bien cependant que les causes de ces variations doivent être cherchées dans les appareils eux-mêmes, et il est très probable qu'une étude méthodique de ces appareils, de l'influence des dimensions et des dispositions de leurs divers éléments (diamètre des cylindres et des meules, vitesse absolue respective, forme, dimensions et répartitions des cannelures, etc.) conduirait à des économies considérables d'énergie.

Coupe-racines.

Un coupe-racines, avec décrotteur (pour faire tomber la terre des betteraves avant de les couper), débitant 1800 kg. à l'heure, prend 450 à 500 watts, soit 25 watts-heure par 100 kg.; le coupe-racines seul en absorbe 20. Ce chiffre reste d'ailleurs sensiblement constant, variant de 20 à 25 watts-heure même pour des appareils de 5 à 7000 kg. à l'heure.

Elévateurs.

La mise en tas des pailles à la sortie des fortes batteuses nécessite un nombreux personnel. On a parfois pensé à le diminuer en pressant la paille ou en la hachant et en la transportant en silo au moyen d'un fort ventilateur. L'inconvénient de cette disposition est d'absorber beaucoup d'énergie: un appareil transportant 2000 kg. à l'heure a par exemple consommé environ 300 watts-heure par 100 kg.

Par contre les chaînes à godets employées pour l'élévation des grains ne consomment que très peu d'énergie, 20 à 25 watts-heure par 100 kg.

Une presse à paille demanderait de 3,5 à 4 kilo-watts environ.

Hache-paille.

Les hache-paille sont employés pour réduire la paille en menus morceaux, d'une longueur variant généralement de 7 à 20 ou 25 millimètres. Suivant la longueur de coupe la con-

sommation varie. Par exemple: un appareil produisant à l'heure 400 kg. de paille coupée à 8 mm. absorbe 400 à 450 watts-heure par 100 kg., chiffre qui tombe à 300 avec une coupe à 15 mm. et à 160 avec une coupe à 25 mm. de long.

Toutefois cette dernière longueur est un peu grande, et, en moyenne, il ne faudrait guère compter moins de 300 watts-heure par 100 kg.

Laiterie.

Une laiterie avec écrémeuses centrifuges comporte, en outre, des pompes, barattes, malaxeurs, pasteurisateurs à crême, avec souvent une machine à glace, le tout actionné par transmission.

Je n'ai que peu de données relatives aux petites laiteries agricoles. Il semblerait qu'on puisse à titre de première approximation très grossière considérer l'énergie nécessaire comme comprise entre 250 et 500 watts-heure par 100 litres de lait traité et par jour. Je ne parle que pour mémoire des machines à traire (milking-machines), sur lesquelles je manque de données précises. Peut-être pourrait-on évaluer l'énergie électrique nécessaire pour les pompes à air de ces machines à une centaine de watts-heure par vache et par jour (?).

Moulins agricoles.

L'énergie consommée par ces appareils est encore plus considérable que celle nécessaire pour les concasseurs: un moulin travaillant environ 70 kg. de grain à l'heure avec sa bluterie nécessite environ 2500 watts-heure par 100 kg. de grain.

Pompes.

Dans des conditions ordinaires d'aspiration (5 à 7 m.) et de refoulement (8 à 10 m.) on peut estimer qu'une pompe absorbe environ 100 à 125 watts-heure pour monter 1 m^3 à 10 m. de haut (Avec les pompes à piston, à marche lente, il n'est pas inutile de se préoccuper de l'inertie à vaincre au démarrage).

Trieurs.

Ces appareils, à marche lente, destinés au nettoyage des grains, consomment des quantités d'énergie très faibles: un trieur, traitant 120 kg. à l'heure, prend 20 watts-heure par 100 kg.

Avec un appareil traitant 600 kg. cette quantité tombe à 12 watts-heure.

Les tarares ensacheurs, avec ventilateurs pour séparer la balle et les grains légers, prennent un peu plus: un appareil traitant 600 kg. à l'heure prend 300 watts, soit 50 watts-heure par 100 kg.

Transmission.

On considère assez souvent comme avantageux (tout au moins au point de vue du prix de premier établissement) de grouper les appareils autour d'une même transmission de manière à les actionner avec un seul moteur.

Ces transmissions absorbent des quantités d'énergie très variables depuis 200 à 2000 watts-heure par heure.

Les appareils isolés sont presque sans exception commandés par courroie.

Parfois les moteurs sont munis de réducteurs de vitesse à engrenages dont le principal inconvénient est un prix élevé.

Il semble que dans certains cas surtout pour les toutes petites puissances il serait avantageux d'employer à leur place des enrouleurs permettant une réduction de vitesse assez forte entre la poulie du moteur et celle de l'appareil commandé en supprimant toute transmission intermédiaire.

J'ai obtenu pour de petits appareils spéciaux commandés à la main des résultats extrêmement satisfaisants de transmission de ce genre ne comportant parfois qu'une simple ficelle.

On trouvera dans le tableau I ici joint (pag. 41) un résumé des données (ci-dessus) relatives au fonctionnement de divers appareils d'intérieur de ferme.

3° *Applications diverses.*

En plus des applications aux travaux uniquement agricoles l'électricité est susceptible de nombreuses applications dans les distributions rurales. C'est ainsi, sans parler des industries agricoles (distilleries, sucreries, etc.) dont l'étude sortirait du cadre de ce travail, que les petits appareils frigorifiques, les distributions et stérilisations de l'eau peuvent constituer des débouchés relativement importants dans certains cas pour les distributions d'électricité.

Je me borne à les mentionner ici.

TABLEAU I.

Conditions de fonctionnement de divers appareils d'intérieur de ferme.

DÉSIGNATION DES APPAREILS	Quantités de matières travaillées par heure en kg.	Énergie consommée par heure en Watt-heure (moyenne)	Énergie par 100 kg. de matières travaillées (Watt-heure)
	1° Broyeurs		
Broyeur d'engrais	2000-2500	2600	125
Broyeur d'os frais (petit appareil)	13	150	2000
Broyeur d'ajoncs	360	1500	420
Broyeur de pommes	1000	500	50
Broyeur de tourteaux	550	750	150
	2° Concasseurs et aplatisseurs		
Petit aplatisseur d'avoine . .	16	200	1000
» de maïs . .	50	200	400
Aplatisseur d'avoine (type 600 litres)	400	110	275
Concasseur à meules (avoine) .	50	300	600
Concasseur avec serrage excessif	50	1500	3000
Concasseur à meules (orge) . .	250	1800	750
	3° Appareils divers		
Coupe-racines avec décrotteur (betteraves)	1800	450-500	25
Coupe-racines sans décrotteur .	—	—	20
Elévateur à paille:			
a) par ventilateur . . .	2000	—	300
b) par chaîne	—	—	20-25
Presse-paille	—	3500	—
Hache-paille:			
paille coupée à 8 mm. .	400	1000	400
paille coupée à 15 mm. .	—	—	300
Laiterie par 100 litres de lait traité	—	—	250-500 (?)
Moulin agricole	70	1600-1800	2500 (?)
Trieurs	120	—	20
Tarare ensacheur	600	—	50
	4° Batteuses		
a) Petites batteuses	très variable	moteur 2-4 ch.[1]	400-500
b) Batteuses perfectionnées . .	»	» 5-10 »	500-1000

La Consommation d'énergie électrique dans les exploitations agricoles.

Les indications qui précèdent peuvent être utiles pour déterminer la puissance des moteurs à employer avec tels ou tels appareils, ainsi que pour déterminer le prix de revient (énergie) des 100 kg. de matière traitée.

Par contre ce qui intéresse l'entreprise de distribution d'énergie, c'est surtout de savoir quelles quantités de courant sont susceptibles de consommer les divers appareils agricoles, et comment se répartit cette consommation tout le long de l'année.

En général l'opinion des exploitants d'entreprises de distribution d'énergie n'est pas favorable à l'extension des applications agricoles de l'électricité, et beaucoup d'entre eux regardent l'agriculteur à peu près comme le plus mauvais client qui se puisse imaginer, utilisant très peu de courant, proportionnellement à la puissance installée et le demandant précisément aux heures de forte charge.

Sans prétendre que, dans certaines conditions, ceci ne puisse être le cas, je pense montrer, dans ce qui va suivre, que, dans nombre de circonstances, la clientèle agricole peut fournir une charge avantageuse, pour peu que le distributeur de courant prenne la peine d'étudier sa clientèle et d'encourager autant que possible les consommations pendant les périodes de faible charge générale des réseaux.

Bases d'évaluation et de comparaison (1).

Assez généralement on rapporte la consommation d'énergie électrique d'une exploitation agricole à sa superficie, et on prend comme base de comparaison la consommation par hectare (2).

Pour la lumière, au contraire, on considère la consommation par habitant.

---

(1) J'adresse ici mes plus sincères remerciements à tous ceux qui ont bien voulu me fournir des renseignements, notamment à MM[rs] Cotté, Fontaine, du Syndicat des Usines d'Électricité, Huet, Lemasle, etc.

(2) On pourrait prendre le nombre de têtes de bétail.



Valeurs mensuelles des coefficients d'utilisation U et de répartition K pour les diverses natures d'exploitations agricoles.

1° Coefficient d'utilisation U

$$U = \frac{\text{Consommation force motrice}}{\text{Puissance installée}} = \frac{(F)}{N}$$

Mm = Moyenne des valeurs mensuelles; Um = Valeur mensuelle moyenne.

1° Laiteries, petites applic. diverses:
Moteurs de 0,5 à 1,5 ch.
(5 exploitations)

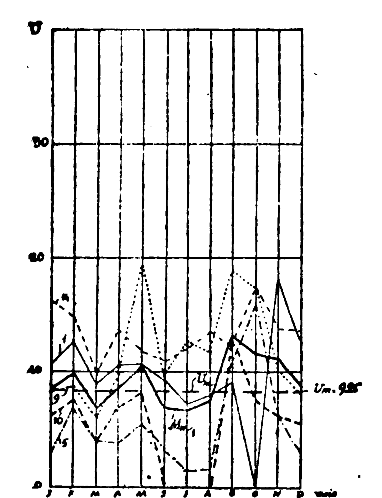


Fig. 1.

2° Coupe-racines, Hache-paille:
Moteurs de 0,5 à 1 ch.
(8 exploitations)

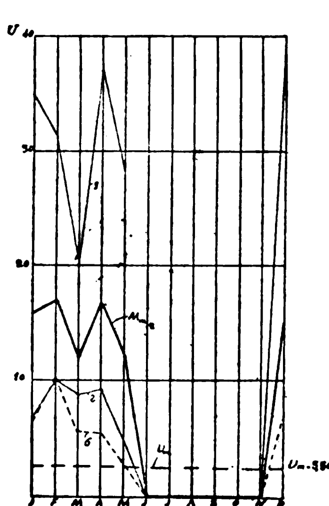


Fig. 2.

3° Aplatisseur:
Moteur de 4 ch.
(1 exploitation)

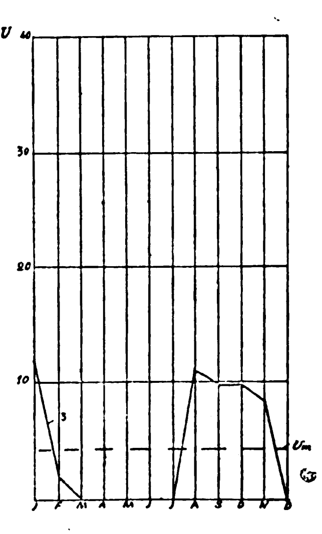


Fig. 3.

4° Petites machines à battre:
Moteurs de 3,5 à 4,5 ch.
(4 exploitations)

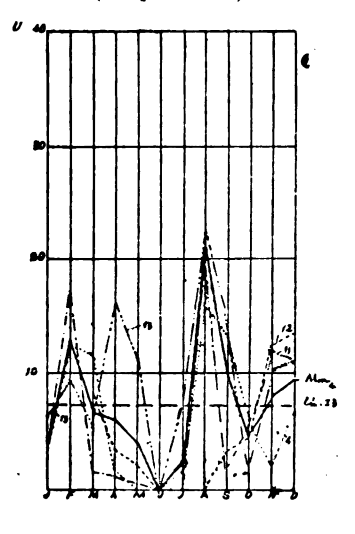


Fig. 4.

Résultats d'ensemble et coefficients moyens pour les exploitations: des figures 1°, 2°, 3°, 4°

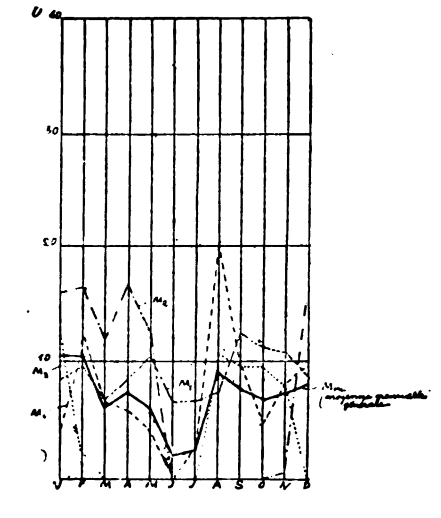


Fig. 5.

2° Coefficient de répartition K

$$K = \frac{\text{Consommation force motrice}}{\text{Consommation lumière}} = \frac{(F)}{(L)}$$

M*m* = Moyenne des valeurs mensuelles; K*m* = Valeur mensuelle moyenne.

1° Laiteries, petites applic. diverses :
Moteurs de 0,5 à 1,5 ch.
(5 exploitations)

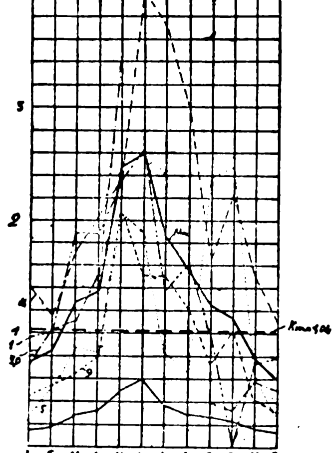


Fig. 6.

2° Coupe-racines, Hache-paille :
Moteurs de 0,5 à 1 ch.
(8 exploitations)

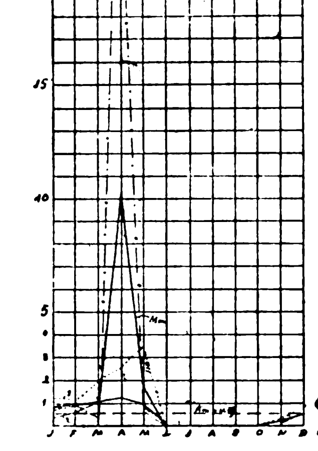


Fig. 7.

3° Aplatisseur :
Moteur de 4 ch.
(1 exploitation)

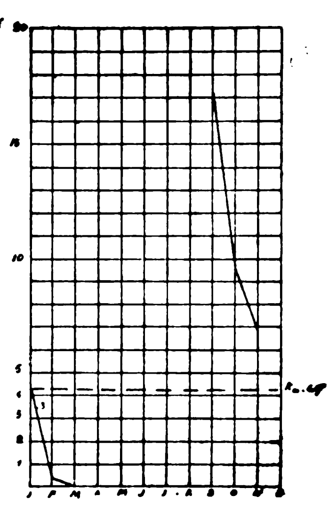


Fig. 8.

4° Petites machines à battre :
Moteurs de 3,5 à 4,5 ch.
(4 exploitations)

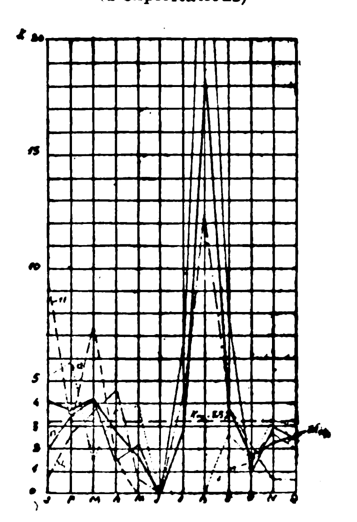


Fig. 9.

Résultats d'ensemble et coefficients moyens
pour les exploitations
des figures 6°, 7°, 8°, 9°

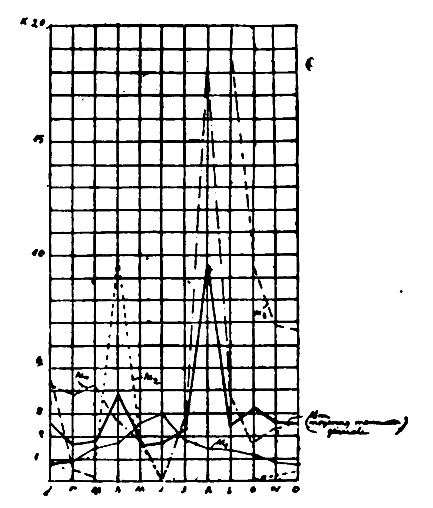


Fig. 10.

Or, on dispose déjà pour la lumière de renseignements beaucoup plus nombreux que pour la force motrice, et si l'on pouvait établir un rapport entre les consommations d'exploitations agricoles déterminées pour la force et la lumière, on aurait ainsi des éléments d'appréciation, tout au moins approximatifs. Ceci ne doit d'ailleurs être regardé que comme une hypothèse.

Afin de vérifier cette hypothèse dans la mesure du possible, j'ai cherché, lorsque je possédais pour une même exploitation, pour les mêmes périodes, les consommations de force (F) et de lumière (L), à utiliser le rapport

$$K = \frac{(F)}{(L)}.$$

Évidemment, la consommation totale à prévoir est

$$Q = L\ (1 + K).$$

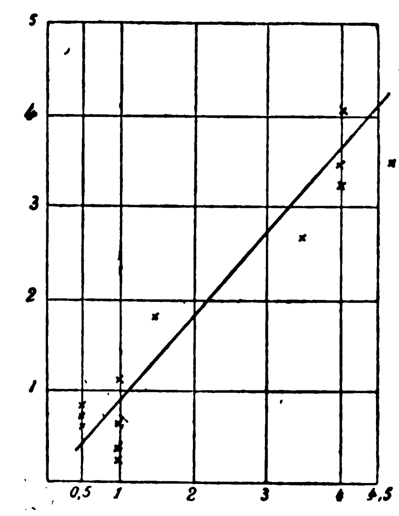


Fig. 11.

Variation du rapport K de la consommation force motrice à la consommation lumière avec la puissance totale des moteurs installés dans les fermes.

Nous verrons que la connaissance de ce rapport K conduit à des conclusions intéressantes, parce que (autant du moins que j'en puis juger d'après le trop petit nombre d'éléments numériques dont je dispose) ce rapport paraît être sensiblement constant pour des exploitations agricoles placées dans les mêmes

conditions et ayant la même puissance totale de moteurs installés

En outre, j'ai étudié un coefficient d'utilisation

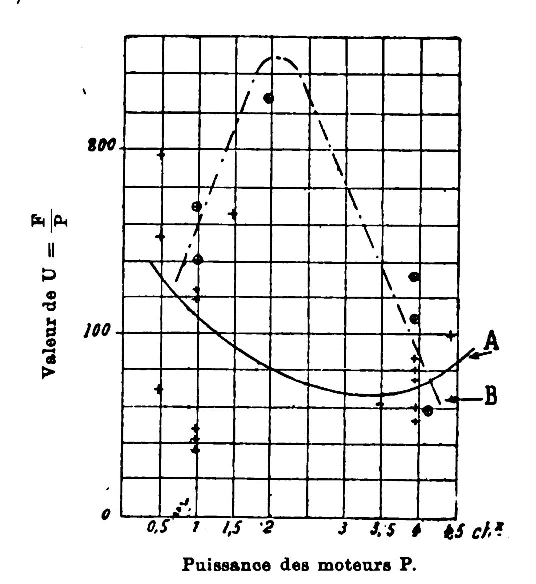
$$U = \frac{\text{Énergie consommée annuellement par les moteurs}}{\text{Puissance totale des moteurs installés}} = \frac{F}{N}$$

puisqu'il est préférable, étant donné une consommation annuelle, qu'elle soit faite par un moteur d'aussi faible puissance que possible, c'est-à-dire foctionnant le plus souvent possible.

Le tableau II qui suit indique un certain nombre de chiffres relevés dans 13 petites exploitations agricoles du Nord de la France.

Le tableau III renferme les mêmes données pour une grande exploitation de l'Aisne.

On peut tirer de ces tableaux et figures des conclusions intéressantes, notamment celle-ci :



Puissance des moteurs P.

Fig. 12.

Variation du facteur d'utilisation annuel U :

$$U = \frac{\text{Consommation force motrice en kwh}}{\text{Puissance des moteurs}} = \frac{F}{P}.$$

——— A : pour des exploitations agricoles +

.—.— B : pour des industries locales en pays agricoles ⊕

" 1° La consommation d'énergie électrique des exploitations
" agricoles est extrêmement variable suivant les époques de

" l'année: très faible pendant les mois d'été, elle est relativement
" considérable pendant les mois d'hiver, aussi bien pour la force
" motrice que pour la lumière. Ces variations dépendent éga-
" lement de la nature des appareils actionnés.

" Le rapport K de la consommation force à la consommation
" lumière est dans l'ensemble supérieur à l'unité: il est d'autant
" plus grand que l'étendue des exploitations est plus élevée.
" De 1,84 en moyenne pour les 13 petites exploitations du ta-
" bleau II, il passe à 6 pour la grande exploitation du tabl. III „.

Ce résultat est d'ailleurs en concordance avec les observations faites en Allemagne: Kurt Krohne et Vietze indiquent en effet, comme moyennes, 4 kilowatts-heure pour l'éclairage, et 20 pour la force motrice, ce qui correspond à une valeur moyenne de $K = 5$.

TABLEAU II.

Consommation de petites exploitations agricoles
comportant simultanément éclairage (L) et force motrice (F)

Nº du Client	APPAREILS ACTIONNÉS	Puissance des moteurs installés N	Consommations annuelles (Hectowatts-heure) Force F	Lumière L	Totales F + L	Valeur de $K = \frac{F}{L}$	Coefficient d'utilisation des moteurs $U = \frac{F}{N}$
7	Trieur de grain	1	483	752	1235	0,64	48
5	Ecrémeuse, baratte. . .	0,5	340	523	863	0,65	68
10	» » . . .	0,5	757	957	1714	0,79	151
9	» lessiveuse . .	1	1227	1063	2290	1,15	123
1	»	1,5	2483	1353	3836	1,84	165
14	Laiterie	0,6	600	»	»	»	900
2	Hache-paille, coupe-racines	1	411	1311	1722	0,315	41
6	» » .	1	378	993	1371	0,38	38
8	Pétrin, coupe-racines . .	0,5	993	1135	2028	0,865	199
3	Aplatisseur de grain . .	4	2230	536	2766	4,17	56
4	Batteuse	3,5	2535	928	3463	2,74	72
13	Batteuse, lessiveuse . .	4	3332	970	4302	3,45	82
11	Batteuse	4	3502	992	4494	3,53	86
12	Batteuse { hache-paille, coupe-racine } 1	4,5	5066	1398	6464	3,61	112
Totaux	16 moteurs	27	23737	12911	36648	1,84	88

TABLEAU III.

Consommation dans une exploitation de 250 hectares en grande culture.

MOIS DE	CONSOMMATIONS MENSUELLES pour Force (F) et Lumière (L) (en Hectowatts-heure)		RAPPORT $K = \frac{F}{L}$
Janvier	3069	699	4,4
Février	4279	495	8,65
Mars	2408	372	6,5
Avril	2298	272	8,5
Mai	1674	142	11,8
Juin	694	89	7,8
Juillet	1197	112	10,7
Août	1009	165	6,1
Septembre	2483	390	6,35
Octobre	1427	578	2,45
Novembre	2242	527	4,25
Décembre	3971	572	7,00
Totaux annuels	26751	4413	6,08
Moyennes mensuelles	2220	370	—

Total F + L . . . 3116 kilowatts-heure.

Kilowatts-heure par hectare pour : lumière . . . 1,77
et par an force 10,65

» Force et lumière . . 12,42

TABLEAU IV.

Répartition de la consommation mensuelle dans les petites exploitations agricoles du Tableau III.

N° de l'exploitation	7		5		10		9		1		2		6		8		3		4		13		11		12		Totaux mensuels		Rapports mensuels		Mois
	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F+L	F/L	
Janvier . . .	30	111	31	44	43	99	112	115	256	182	70	207	67	98	182	162	580	127	165	248	250	185	695	185	1413	216	2844	1899	4743	1,5	Janvier
Février . . .	70	134	39	38	46	88	132	128	227	197	104	192	106	126	160	145	86	232	637	258	396	117	682	120	597	192	3284	1962	5246	1,67	Février
Mars	40	45	20	18	31	47	94	49	148	85	88	87	58	114	108	54	»	14	53	15	209	50	376	59	530	72	1755	709	2464	2,48	Mars
Avril	40	47	36	23	52	65	110	58	210	104	93	77	57	2	190	74	»	17	41	9	69	46	160	57	87	61	1145	640	1785	1,79	Avril
Mai	57	27	42	12	100	47	111	46	185	71	56	60	25	39	146	41	»	10	9	14	58	28	86	23	»	36	870	449	1319	1,93	Mai
Juin	31	16	3	»	51	33	97	36	170	41	»	27	»	68	»	25	»	»	»	15	»	19	»	13	»	12	352	305	657	1,15	Juin
Juillet . . .	16	17	»	»	66	43	71	52	188	50	»	40	»	36	»	45	»	»	45	10	177	28	»	20	»	27	563	363	926	1,55	Juillet
Août	18	23	»	»	62	51	82	53	212	71	»	37	»	43	»	43	454	7	589	47	958	33	»	34	971	33	2286	475	3461	6,25	Août
Septembre . .	120	50	66	160	98	136	96	105	193	117	»	40	»	73	»	77	401	23	482	118	584	72	132	44	77	75	2249	1140	3389	2	Septembre
Octobre . . .	162	67	41	121	91	87	»	»	271	119	»	134	»	97	»	110	412	48	210	96	92	108	191	121	273	208	1533	1516	3049	1,43	Octobre
Novembre . .	68	102	82	55	53	124	185	245	213	134	»	161	»	138	5	141	347	58	62	103	436	145	568	167	576	207	2545	1780	4325	1,43	Novembre
Décembre . .	31	113	30	52	44	137	137	176	210	182	»	199	65	159	202	218	»	»	242	»	468	194	612	199	542	259	2583	1888	4471	1,37	Décembre
Total . . .	483	752	340	523	757	957	1227	1068	2483	1358	411	1311	378	998	998	1135	2230	536	3535	928	3692	970	3502	992	5066	1898	28737	12911	36648	1,84	

TABLEAU V.

Résultats d'exploitation d'une centrale régionale.

LOCALITÉS desservies	Nombre d'habitants de chaque localité	Terres labourables (hectares)	Vignobles (hectares)	Superficie totale (hectares)	Kilowatts-heure annuels		
					Totaux	par hectare	par habitant
M.	994	376	142	518	7800	15	7,85
L.	990	613	185	798	11100	13,9	11,2
C.	638	78	90	168	6100	36,3	9,6
R.	1621	267	300	567	26800	47,3	16,5
V.	631	538	38	576	7200	12,5	11,4
Totaux	4874	1872	755	2627	59000	22,4	12,1
Moyennes par localité	975	375	151	525	11800	—	—

Lampes et moteurs.

	Nombre total	Puissance totale	Puissance unitaire moyenne	NOMBRE PAR	
				1000 hectares	1000 habitants
Lampes . .	3821	174 kw.	—	1427	—
Moteurs . .	30	75 chv.	2,5	10	5,47

TABLEAU VI.

Consommation dans les petites localités.

(Clients non agriculteurs).

DÉSIGNATION DES CLIENTS	Puissance totale des moteurs installés	Consommations annuelles en kilowatts-heure		Coefficient d'utilisation des moteurs $U = \frac{F}{N}$
		Force F	Lumière L	
Petits rentiers	—	—	60 à 70	—
Petit café	—	—	100 à 150	—
Boulanger	1	120 à 150	»	120 à 150
»	2	450 à 600	»	225 à 300
»	1	600	»	600
Charron	4	250 à 300	»	65 à 75
Menuisier	4	400 à 500	»	100 à 125
Élévation d'eau	13	4 à 5000	»	380 à 400

L'explication de cette variation de K est bien simple. Dans toute exploitation, si petite qu'elle soit, il faut toujours dépenser un certain minimum pour l'éclairage. Qu'il y ait une ou dix personnes dans une pièce, la dépense d'éclairage (L) ne varie pas proportionnellement au nombre de personnes. Il en est de même pour l'éclairage des divers locaux.

Par contre, en ce qui concerne la préparation de la nourriture des animaux, bien que le rendement des appareils et des moteurs varie avec leurs dimensions, on peut considérer que la quantité d'énergie (F) à dépenser varie à très peu près comme la quantité d'animaux, c'est-à-dire comme l'étendue de l'exploitation, d'où l'augmentation de la valeur de $K = \frac{F}{L}$ avec l'accroissement de l'importance des exploitations agricoles.

Si maintenant nous examinons les diverses valeurs du rapport $K = \left(\frac{\text{Force}}{\text{Lumière}}\right)$ dans les tableaux précités et dans les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, nous constatons qu'elles varient très notablement, d'abord avec les saisons (tableau IV) et en second lieu avec les appareils employés (tableau II).

Les valeurs les plus faibles (tableau II) sont celles obtenues avec les hache-paille, coupe-racines. Ainsi, par exemple, dans les exploitations 2 et 6 la valeur de K serait de 0,315 à 0,38, la force motrice représentant donc ici moins du $^1/_3$ de la lumière avec un moteur de 1 cheval.

Dans d'autres exploitations, au contraire (13, 11, 12), cette valeur atteint 3,45; — 3,53; — 3,61; avec des moteurs de 4 chevaux.

Quelles sont les raisons de ces différences ?

Nous allons les trouver, d'une part, dans l'examen des relevés mensuels (tableau IV) et d'autre part dans la discussion des conditions d'utilisation des appareils.

L'examen des relevés mensuels de consommation nous indique en effet que pour l'exploitation 2 (de même que pour l'exploitation 6) il n'y a de consommation de force motrice que pendant quelques mois d'hiver. Cette consommation se fait surtout en janvier, février et mars et un peu en décembre. La raison en est simple : pendant la belle saison, les bêtes vont aux champs, et pendant cette période, il n'y a plus de racines de la récolte précédente, par conséquent il n'y a pas de nourriture sèche à leur préparer à la ferme.

L'hiver, au contraire, on ne peut plus les envoyer aux champs et il faut les nourrir à l'étable avec de la nourriture sèche.

Ces chiffres sont relatifs à une distribution du Nord de la France. Dans d'autres régions, l'allure de la consommation pourrait être légèrement différente.

Le relevé de consommation de l'exploitation 8 (pétrin et coupe-racine) présente une allure analogue : il est très probable que le pétrin n'est également utilisé que pendant les mois d'hiver, et que l'été, au moment des grands travaux, l'agriculteur n'a pas le temps de boulanger.

De même, pour cette même exploitation 8, le facteur d'utilisation U est très faible.

Il y a donc au point de vue des entreprises de distribution d'électricité, tout lieu de prévoir que les coupe-racines et hache-paille seuls ne constituent pas une charge très désirable. Il y aurait peut-être lieu d'examiner, à ce point de vue, s'il ne faudrait pas faire en sorte que les clients prennent des appareils de faible puissance, quitte à les faire fonctionner plus longtemps.

Par contre les facteurs K et U s'améliorent déjà quand on passe aux laiteries. Si dans de petites laiteries, ou plus exacte-

ment dans les petites exploitations (5 et 10) n'ayant que des appareils de faible puissance (moteurs de $^1/_2$ cheval) K n'atteint encore que la valeur de 0,65 à 0,79, le facteur d'utilisation est déjà beaucoup meilleur que pour les hache-paille (68 et 151 au lieu de 41 et 38 pour les exploitations 2 et 6) et la consommation mensuelle plus régulière. Le tableau II montre en effet que la consommation se répartit à peu près régulièrement sur tous les mois (sauf trois mois d'été pour l'exploitation 2, dans laquelle vraisemblablement, on a vendu le lait directement pendant cette période).

Dans ces deux exemples (5 et 10) K et U sont faibles parce qu'il s'agit de petites exploitations, dans lesquelles les écrémeuses ne fonctionnent que peu de temps; mais, dans d'autres cas, même pour des moteurs de faible puissance, on peut avoir des valeurs très supérieures; c'est ainsi (tableau II) que pour un moteur de laiterie de $^2/_3$ de cheval (dans une autre région que les exploitations 5 et 10), on trouve un facteur d'utilisation de 900 au lieu de 68 et 150 seulement, avec $K = 1{,}84$ au lieu de 0,65 à 0,79. Ici encore, on le voit, les conditions locales ont une influence considérable, puisque, pour la même puissance de moteur, la même application, on trouve des chiffres extrêmes aussi différents (68 et 900), soit un rapport de 1 à 13 entre les extrêmes.

Lorsque la puissance des moteurs employés pour les appareils de laiterie augmente un peu, ou lorsque en plus de ces appareils, ils en actionnent en même temps d'autres, le rapport K s'améliore encore passant (9 et 1) à 0,79 et 1,15, bien que le facteur d'utilisation reste à peu près le même (123 à 165).

Si nous examinons (tableau IV) la répartition mensuelle de la consommation dans ces mêmes exploitations (9 et 1), nous trouvons que la consommation force est à peu près régulièrement répartie tout le long de l'année avec, tout au plus, un léger fléchissement pendant la belle saison, les extrêmes étant, par exemple pour l'exploitation 1, de 170 en juin et de 256 en janvier.

C'est donc là une charge plus avantageuse que la laiterie seule.

Jusqu'ici nous n'avons vu que de petits moteurs.

Quand la puissance unitaire de chaque moteur augmente (exploitations 3, 4, 13, 12, 11) la valeur du rapport K augmente aussi, ce qui était d'ailleurs évident à priori d'après ce que nous avons dit pour les grandes exploitations, où la consom-

mation lumière croît beaucoup moins vite que la consommation force (voir figure 11).

Non seulement le coefficient d'utilisation de ces gros moteurs (que je qualifie de gros relativement aux autres) n'augmente pas avec leur puissance, mais même d'une manière générale il est inférieur à celui des petits moteurs (figure 12).

Toutefois il ne faudrait pas en conclure d'une manière générale qu'ils constituent une charge nécessairement défavorable.

Il peut parfaitement arriver en effet que le fonctionnement de ces moteurs se fasse en dehors des heures d'éclairage ou pendant des mois où le service d'éclairage est peu chargé.

Ainsi un fort aplatisseur d'avoine nécessitant un moteur de 4 chevaux (exploitation 3) n'a qu'un coefficient d'utilisation de 56 (55,7), mais son fonctionnement a lieu surtout pendant les mois d'août, septembre et octobre. (Il y a au mois de décembre du relevé relatif à cette exploitation 3 une lacune dont je n'ai pas l'explication). Dans certains cas, il serait possible d'obtenir de l'agriculteur qu'il ne ferait agir son moteur que pendant le jour, en dehors des heures d'éclairage.

Si nous passons aux machines à battre (exploitations 4, 13, 11) nous constatons (tableau II) une certaine homogénéité dans les résultats d'ensemble, le coefficient K ne variant que de 2,74 à 3,53, tandis que le coefficient d'utilisation oscille entre des limites encore plus resserrées de 72 à 88. (Ces trois exploitations sont dans la même région du Nord de la France).

Toutefois les relevés mensuels (tableau IV) nous montrent des différences assez notables dans la répartition de la consommation.

Pour les exploitations 4 et 13 le maximum de la consommation a lieu pendant les mois d'août et septembre; le battage se prolonge pendant les derniers mois de l'année, avec une diminution de consommation en octobre, au moment des labours: le battage s'achève ensuite au début de l'année.

L'exploitant 11, sans doute moins pressé que les deux autres, n'a commencé ses battages que plus tard, de sorte que sa consommation a atteint son maximum en décembre et janvier.

C'est du reste à peu près le cas de l'exploitant 12, qui, après avoir battu une bonne partie de sa récolte dès le mois d'août, n'a repris sérieusement ses battages qu'en novembre pour les pousser activement en janvier.

Toutefois, comme cette dernière exploitation (12) comporte également un hache-paille et un coupe-racines, appareils qui ne

fonctionnent guère que pendant le mois d'hiver, il est très probable qu'une partie de la consommation en fin d'année ainsi qu'en janvier et février doit être attribuée à ces derniers appareils (comparer avec les exploitations 2, 6, 8 et 3).

En ce qui concerne les consommations par hectare je n'ai malheureusement pas les chiffres relatifs aux petites exploitations du tableau I, mais, par contre, le tableau V montre que l'on peut obtenir des chiffres élevés, puisque ce groupe représente une moyenne de 22,4 kilowatts-heure par hectare variant de 12,5 à 47,3. Ce dernier chiffre, relatif à une agglomération, n'a toutefois pas grande valeur.

Le tableau III donne les relevés d'une exploitation de 250 hectares dans l'Aisne, dans laquelle la consommation annuelle par hectare, est, en kilowatts-heure, de 1,77 pour la lumière et de 10,65 pour la force, total 12,42.

Ces chiffres, inférieurs à ceux indiqués pour l'Allemagne par K. Krohne (4 kilowatts-heure pour la lumière, 20 pour la force motrice), peuvent être parfois très notablement dépassés.

C'est ainsi que, dans une exploitation intensive de 250 hectares, aux environs de Paris, la consommation totale annuelle (force et lumière) serait d'environ 20.000 kilowatts-heure, soit 80 kilowatts-heure par hectare et par an. Toutefois, il faut bien remarquer qu'il s'agit ici d'un cas exceptionnel (cette exploitation comporte une laiterie de 100 vaches dont le lait est vendu à Paris); en outre le courant livré (continu à 500 volts), est transformé dans l'exploitation même en continu à 110 volts; par moteur générateur il y a donc lieu, dans l'évaluation de la consommation, de tenir compte du rendement du transformateur rotatif: en tenant compte de ce rendement, la consommation utile n'est probablement pas supérieure à 40 à 50 kilowatts-heure par hectare et par an.

A titre de comparaison j'indique dans le tableau VI quelques chiffres de consommation relatifs à des clients non agriculteurs, dans la même région que les agriculteurs du tableau II. On y voit qu'au point de vue utilisation ceux-ci peuvent être comparés avec les petites industries locales.

En tout cas, en discutant plus loin les moyens de développer la consommation d'électricité des agriculteurs, nous verrons comment nous pourrons utiliser ces résultats.

Tarification, produit annuel.

En ce qui concerne les entreprises de distribution desservant des localités agricoles avec force motrice on rencontre une certaine diversité de tarifs.

Souvent on applique deux tarifs, un pour la lumière, l'autre pour la force. Fréquemment, le tarif de force est dégressif, suivant la consommation annuelle.

Pour la lumière (en France) le tarif est généralement constant, et oscille entre 50 et 80 centimes le kilowatt-heure.

Pour la force motrice, on ne dépasse pas 50 centimes, parfois même le tarif tombe à 20 centimes.

En outre on fait parfois des concessions suivant les clients.

Un petit secteur coopératif demande par exemple 55 centimes pour l'éclairage, 30 centimes pour la force motrice.

Un autre prend 80 centimes pour l'éclairage et, pour la force motrice, applique le tarif dégressif suivant:

de	0	à	1000	Kilowatts-heure	par	an	fr.	0,50	le Kwh.
„	1000	„	2000	„	„	„	„	0,45	„
„	2000	„	3000	„	„	„	„	0,40	„
„	3000	„	4000	„	„	„	„	0,35	„
„	4000	„	5000	„	„	„	„	0,30	„
„	5000	et	plus	„	„	„	„	0,25	„

En résumé il semble que les prix moyens oscillent aux environs de 50 à 60 centimes pour l'éclairage et de 30 centimes pour la force motrice.

Lorsqu'un tarif dégressif est appliqué, il semble bien que l'échelle de dégression ait été établie au petit bonheur sans tenir aucun compte ni de la durée annuelle de fonctionnement des appareils, ni de leur coefficient d'utilisation.

Pourtant, d'après les relevés qui précèdent et aussi d'après les graphiques des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, on voit combien est grande la différence non seulement entre l'utilisation des divers appareils mais aussi la répartition de leur consommation dans l'année.

Je reviendrai d'ailleurs plus loin sur cette question ainsi que sur la discussion du double tarif.

En ce qui concerne les recettes annuelles, on peut les déduire à peu près des tableaux qui précèdent en appliquant les

chiffres moyens ci-dessus. Il m'a d'ailleurs été très difficile d'obtenir des renseignements à ce sujet (comme d'ailleurs pour les relevés de consommation).

Provenance du courant.

La provenance du courant utilisé dans les exploitations agricoles est très variable.

En laissant de côté le cas où il s'agit d'exploitations comportant leur propre centrale, on observe actuellement une évolution très nette à cet égard.

Au début, les entreprises de distribution étaient surtout de petites affaires locales, avec des usines de faible puissance créées assez souvent pour utiliser une chute d'eau disponible, avec ou sans moteurs thermiques de secours et des réseaux peu étendus. Ces centrales, soit privées, soit coopératives, soit même municipales, étaient en général isolées les unes des autres. Il s'en est constitué un certain nombre, notamment en France sous l'impulsion du Service des Améliorations Agricoles du Ministère de l'Agriculture (1) depuis la circulaire du 6 janvier 1904 que j'ai mentionnée plus haut.

Même pour ces usines de faible et moyenne importance on rencontre tous les modes de distribution (continu à 2 ou 3 fils, 110, 240, 480 volts, alternatif, simple ou triphasé, le plus généralement aux environs de 5000 volts au primaire, avec $^{110}/_{190}$ volts au secondaire).

Il serait sans grand intérêt de faire le recensement de ces diverses stations, d'autant plus que parmi toutes les usines desservant de petites localités il serait bien difficile de tracer une ligne de démarcation entre celles qui n'ont qu'une clientèle urbaine et celles qui desservent principalement des agriculteurs (2).

---

(1) D'après une note de Mr Lévy Salvador, ingénieur de ce service, 23 études auraient été faites, ou seraient actuellement (juillet 1911) en cours, en vue de l'utilisation de chutes de faible et moyenne puissance pour des applications agricoles.

(2) On trouvera dans l'„Annuaire du Syndicat professionnel des Usines d'Électricité „, 27, rue Tronchet, Paris, tous renseignements à ce sujet.

Mr Henri Bresson qui s'est spécialisé dans l'étude des basses chutes (Houille

Dans l'ensemble, les résultats de ces petites exploitations à clientèle, exclusivement, ou principalement agricole ne semblent pas avoir été merveilleux, d'où l'opinion actuelle que la clientèle agricole n'est pas à rechercher pour une entreprise de distribution d'énergie électrique.

Certes, la consommation de l'agriculture ne peut être aussi régulière que celle de l'industrie, ni avoir un facteur d'utilisation aussi élevé, et une station destinée à desservir uniquement des consommateurs agricoles est par ce fait même moins bien placée que si cette consommation n'était qu'un appoint à une centrale desservant déjà d'autres consommateurs.

Une des causes de ces mauvais résultats vient de ce que les stations de petite importance, comme c'est généralement le cas dans les petites distributions à clientèle exclusivement agricole, indépendamment du prix de revient élevé du courant qu'elles produisent, ne peuvent généralement pas admettre des moteurs d'une puissance supérieure à quelques chevaux, sans provoquer des perturbations inadmissibles sur le réseau, perturbations qui suscitent les plaintes justifiées des autres consommateurs, notamment de ceux de lumière.

Si cette situation se produit dès le début de l'exploitation, le développement de la consommation force et lumière s'en trouve entravé (d'autant plus que bien souvent ces petits réseaux sont installés de façon défectueuse à tous les points de vue).

D'autre part ces petites entreprises isolées ne disposent pas d'éléments suffisants pour faire l'éducation du consommateur et aussi pour étudier le moyen de mieux répartir la consommation et de la développer par des applications nouvelles, comme nous le verrons plus loin.

Ces raisons suffiraient à elles seules à expliquer pourquoi, tant qu'il s'agissait de petits réseaux, c'est-à-dire jusqu'à ces dernières années, il n'était guère possible de songer à une extension importante des applications de l'électricité aux travaux agricoles.

Par contre, cette situation se trouve modifiée profondément depuis quelques années par le développement des réseaux ré-

---

Verte) a publié dans la " Revue Électrique " de 1911 divers tableaux des usines hydrauliques françaises (voir aussi les tableaux dressés par lui pour l'Exposition de Turin).



gionaux étendus et fournissant le courant dans de meilleures conditions de prix, tout en permettant de l'utiliser avec des moteurs de toutes puissances. D'autre part ces entreprises importantes peuvent, en raison de leur importance même, étudier la consommation de leur région, en modifier la répartition dans une certaine mesure et rechercher des applications nouvelles (distribution d'eau par exemple) en faisant une propagande convenable, soit d'ailleurs qu'elles livrent le courant directement aux consommateurs, soit qu'elles passent par l'intermédiaire des petites entreprises préexistantes, dont le rôle se ramène alors à celui d'agents de distribution, les petites usines servant alors seulement de secours, quand elles ne disparaissent pas définitivement.

L'avenir des applications agricoles de l'électricité et le moyen de les développer.

Nous nous trouvons donc ainsi conduits tout naturellement à examiner les moyens de développer la consommation de l'énergie électrique dans les applications agricoles, dans les conditions les plus avantageuses pour le producteur de courant, aussi bien d'ailleurs que pour le consommateur.

Les intérêts des deux parties sont en effet les mêmes: plus l'agriculteur trouvera d'avantages à employer l'électricité, et plus il en consommera; réciproquement, plus cette consommation agricole se développera, et plus les entreprises de distribution pourront baisser leurs prix et développer leurs réseaux.

L'intérêt général du développement des applications agricoles de l'électricité n'est donc pas discutable: aux agriculteurs il permettra de remédier à la pénurie croissante de main d'œuvre et d'augmenter le rendement de leurs terres. Aux constructeurs de matériel électrique et mécanique, il offre un débouché important.

La question est seulement de savoir comment et sous l'action de qui ce développement peut se faire.

Une première solution consisterait à l'attendre des faits eux-mêmes, ce qui pourrait être très lent.

Les agriculteurs paraissent devoir être les premiers à agir, mais on ne peut guère compter sur une action efficace de leur

part: l'étude de la question, les essais à faire, la propagande à entreprendre, tout cela nécessite des frais, des connaissances techniques et économiques, et une organisation qu'on ne peut guère attendre d'eux, pas plus d'ailleurs que des constructeurs de matériel, trop occupés par leurs travaux courants pour faire des essais d'applications nouvelles et qui de toute façon sont assurés d'avoir un débouché pour leur matériel, quels que soient les moteurs employés.

Il n'en est pas de même pour les entreprises de distribution d'électricité qui se trouvent déjà et se trouveront surtout dans un avenir prochain, dans nombre de cas, en concurrence très sérieuse avec les moteurs à explosion. (Bien souvent, d'ailleurs, cette propagande pourra être facilitée par la collaboration de certaines personalités agricoles et autres, collaboration qui, dans nombre de cas, s'obtiendra facilement à la condition de se mettre au courant des conditions particulières à chaque réseau).

Les entreprises de distribution d'électricité ont donc tout intérêt à se préoccuper sans retard des moyens de développer leur clientèle agricole, pour éviter l'intrusion de concurrents difficiles à déloger une fois installés.

Peut-être n'est-il pas inutile de mentionner ici un argument pour les moteurs à explosion.

C'est leur indépendance absolue de toute centrale, assurant par conséquent à l'agriculteur toute sécurité au point de vue des arrêts intempestifs pour cause quelconque: sabotage, grève, etc.

La nécessité d'une action des entreprises de distribution électrique étant ainsi admise, nous allons rechercher ce qu'elle peut être.

Nous avons vu qu'on pouvait classer les applications agricoles de l'électricité en deux catégories, électroculture proprement dite et applications mécaniques.

Nous avons vu également que l'électroculture n'était pas encore sortie de la période expérimentale et qu'on ne pouvait même, actuellement, faire aucune hypothèse sur les consommations d'électricité que pourrait entraîner l'électroculture. Dans ces conditions le mieux semble donc être pour les entreprises de distribution ou d'organiser des essais très sérieux pour élucider cette question qui est d'un très grand intérêt général ou bien de la laisser résolument de côté pour concentrer tous leurs efforts sur les applications mécaniques.

Dans l'état actuel de la question cette dernière solution paraît la plus sage.

Mais ici encore il faut déterminer avant tout un plan d'action.

Nous avons vu que pour les travaux de culture proprement dits l'électricité ne serait susceptible de recevoir des applications nombreuses que lorsque la question serait prise dans son ensemble et que les exploitations agricoles à organiser électriquement seraient munies d'installations permanentes fixes de manière à permettre l'exécution de tous les travaux de culture par l'électricité.

Comme ces conditions ne pourront se généraliser que progressivement il serait actuellement prématuré d'inciter les entreprises de distribution d'énergie électrique à s'engager à fond dans cette voie. (Bien entendu ceci ne veut pas dire que ces entreprises devront s'abstenir absolument de chercher à faire des applications mécaniques aux travaux de culture, mais signifie simplement que, ces applications ne pouvant actuellement donner de bons résultats sinon techniques du moins économiques que dans des conditions exceptionnelles, il sera prudent pour elles d'étudier soigneusement les occasions d'applications de ce genre qui se présenteront avec l'idée préconçue que ces applications ne peuvent réussir qu'exceptionnellement).

Nous arrivons donc ainsi par éliminations successives à trouver que les seules applications que les entreprises de distribution aient intérêt à pousser actuellement sont celles relatives aux travaux d'intérieur de ferme (ainsi d'ailleurs qu'aux applications analogues: distributions d'eau, petites industries, etc.), de telle sorte que la première question à résoudre est tout simplement celle-ci:

Comment développer les applications d'intérieur de ferme dans une région donnée?

La première chose à faire est de procéder à une étude méthodique des conditions agricoles de la région de manière à ne proposer aux agriculteurs que les appareils adaptés à leurs besoins et auxquels ils soient accoutumés, car ce serait perdre son temps que de vouloir faire changer d'habitude aux agriculteurs, tout au moins au début.

Cette étude devrait même être complétée avant toute propagande par des essais effectués dans la région même, de façon à ne plus laisser subsister même l'ombre d'un doute sur l'adaptabilité des appareils essayés aux besoins de la région. Le mieux serait d'ailleurs à ce point de vue de créer des sortes de pe-

tites stations d'essais très rudimentaires, par exemple chez des agriculteurs de bonne volonté, stations qui serviraient en même temps de démonstration.

On ne saurait apporter trop d'attention à cette nécessité de supprimer tout aléa en ce qui concerne les avantages des applications électriques proposées aux agriculteurs, parce qu'ils sont en général extrêmement défiants à l'égard de toute nouveauté (probablement parce qu'ils en ont déjà vu échouer beaucoup). Il suffit d'un échec, même dû à une cause fortuite, pour créer à l'égard d'une nouveauté même excellente un préjugé qu'il est ensuite très difficile de détruire.

C'est seulement une fois cette base solide établie qu'on peut songer à faire de la propagande ou de la publicité pour inciter les agriculteurs à réaliser les applications dont on peut matériellement leur démontrer les avantages.

A ce point de vue il n'est pas inutile d'avoir toujours présentes à l'esprit les particularités du milieu agricole.

Les agriculteurs, comme je viens de le rappeler, sont naturellement très défiants à l'égard de tout ce qui est nouveau pour eux, de plus ils sont lents à prendre une décision et n'aiment pas à être bousculés. Ils aiment bien à voir fonctionner un outil nouveau chez leurs voisins avant d'en acheter un pour eux-mêmes.

Une publicité directe ou intempestive ou des interventions personnelles pour leur forcer la main (alors même que la proposition qui leur serait faite serait réellement avantageuse pour eux), tout cela les effarouche. Il faut les laisser venir, attendre qu'ils demandent une explication, se mettre à leur portée, les laisser réfléchir et revenir demander de nouveau des explications jusqu'à ce qu'ils aient acquis la conviction que la nouveauté qui les intéresse est avantageuse pour eux.

Cette marche qui peut paraître lente de prime abord est en réalité la plus simple et la plus rapide et aussi la plus économique si l'on sait utiliser les éléments existants dans les milieux agricoles.

On y rencontre en effet indépendamment des fonctionnaires un certain nombre de personnalités qui sont disposées (surtout lorsqu'il ne doit en résulter aucune dépense pour elles) à faciliter les premiers essais de toute nouveauté.

De plus il n'est pour ainsi dire pas d'arrondissement qui n'ait en moyenne une société ou un comice agricole organisant

chaque année un concours avec des fêtes locales auxquels se rendent les agriculteurs de la région.

Il est facile et peu coûteux d'organiser dans ces réunions des essais de démonstration qui ont une portée bien plus considérable que toute publicité qu'on pourrait faire dans les journaux. Il doit être entendu ici que les essais dans les concours agricoles ne peuvent être que des essais de démonstration et non pas des essais d'étude. Tous ceux qui ont eu à faire des essais dans ces concours savent dans quelles conditions déplorables on est obligé d'opérer et quelle faible valeur ont les conclusions auxquelles on peut arriver, quand on arrive à des conclusions (pas de service d'ordre, spectateurs qui se bousculent, se mettent partout où on n'en a pas besoin, au risque de se faire blesser, époques mal choisies, etc.).

On arrivera donc assez facilement sans grands frais, et relativement vite, à développer dans une région donnée les applications agricoles d'intérieur de ferme qui n'entraînent que des immobilisations de capitaux relativement très faibles à la portée de la plupart des agriculteurs propriétaires, et même des fermiers à long bail (pour les métayers la question se complique quelque peu, mais on peut entrevoir diverses solutions qui à priori paraissent très acceptables).

De plus ces applications auront une valeur éducative et familiariseront l'agriculteur avec les avantages et le maniement des moteurs électriques (et le rendront peut-être un peu plus soigneux à l'égard de son matériel, dont l'entretien brille le plus souvent par une absence complète).

Il va presque sans dire d'ailleurs que cette propagande profitera également dans les agglomérations rurales à la propagation du moteur électrique dans les petites industries locales.

Il est également toute une catégorie d'autres applications facilement réalisables en même temps, telles que l'élévation de l'eau et sa distribution soit dans les exploitations et les groupements d'exploitations ou dans les agglomérations, qu'il s'agisse des seuls besoins domestiques et de l'alimentation des animaux ou en outre de l'arrosage ou de l'irrigation. Soit dit en passant, ces applications sont particulièrement avantageuses pour les producteurs d'électricité, parce qu'elles constituent une charge le plus souvent de jour qui se produit pendant l'été, c'est-à-dire à une époque où la consommation générale est très faible.

C'est ainsi qu'une Société du Sud de la France d'électricité a distribué pour élévation d'eau, arrosage et irrigation:

6.500 kwh	. . . . .	en 1898
11.600 „	. . . . . .	„ 1909
18.500 „	. . . . . .	„ 1910.

Cette progression rapide montre tout l'intérêt que présente cette catégorie d'applications. Toutefois, en ce qui concerne du moins la distribution d'eau à des groupements d'exploitations ou à des agglomérations, les capitaux nécessaires dépasseront généralement les moyens des agriculteurs isolés, et, à cette phase du développement des applications agricoles de l'électricité, les agriculteurs sentiront le besoin, soit de recourir à des concours financiers extérieurs, soit de se grouper entre eux pour réunir les capitaux nécessaires. Vraisemblablement d'ailleurs ils pourront être aidés par les caisses de crédit agricole locales ou régionales.

La nécessité de mettre en jeu des capitaux importants deviendra impérieuse lorsqu'une fois l'éducation des agriculteurs faite en ce qui concerne les avantages de l'électricité ils voudront passer de l'emploi des appareils isolés pour les travaux d'intérieur de ferme à des installations de manutentions complètes et surtout à la création des installations fixes (dans les champs aussi bien qu'à l'intérieur des exploitations), dont nous avons vu la nécessité pour aboutir à des résultats satisfaisants dans l'application de l'électricité aux travaux de culture proprement dits.

D'autre part la réalisation de ces installations fixes devant nécessiter dans la plupart des cas soit des remembrements de propriété, soit des groupements de parcelles, soit encore des ententes entre propriétaires exploitants pour effectuer électriquement tout ou partie des travaux de culture, on voit que le développement de ces applications ne pourra être que lent.

Peut-être pourrait-on craindre que l'esprit particulariste des agriculteurs ne s'oppose à ces modifications profondes de l'état actuel. On peut cependant admettre que dans la plupart des cas cet obstacle ne sera pas insurmontable: les agriculteurs ont commencé depuis longtemps en effet à comprendre les avantages des groupements et leurs associations augmentent constamment comme nombre et comme importance. Il est donc très probable que leur groupement pour l'exécution en commun

de tout ou partie des travaux de culture se fera sans difficultés. J'en trouve un exemple dans les syndicats de Lieusaint et de Senlis qui viennent de faire l'acquisition de matériels de labourage à vapeur pour l'exécution des travaux de gros labour chez leurs adhérents, ceux-ci exécutant eux-mêmes les autres travaux. On peut imaginer facilement toute autre combinaison analogue, par exemple, telle que celle qu'avait adopté la Société d'agriculture et de viticulture de Châtellerault qui dès 1893 avait fait l'acquisition d'un matériel de défoncement qu'elle mettait à la disposition de ses membres en vue des plantations de vignes, par l'intermédiaire d'un entrepreneur de battages qui fournissait la locomobile nécessaire pour actionner le treuil. Mais dans la plupart des cas, même actuellement, des concours financiers sont nécessaires non pas tant pour faire l'acquisition des appareils eux-mêmes que pour établir les réseaux et les lignes secondaires destinés à les alimenter et qui représentent un capital assez important pour qu'on hésite à l'aventurer sans grande probabilité d'une consommation importante dès le début (ou plus exactement d'une recette de provenance quelconque correspondant tout au moins à une notable partie des frais d'intérêt, d'amortissement et d'entretien de ces lignes).

Diverses solutions ont été appliquées ou proposées à ce sujet. Dans l'ensemble elles peuvent être réparties en deux catégories. Dans un cas on fait appel simplement au concours financier des intéressés (par exemple, sous forme de subvention, de garantie d'intérêt, etc.), tandis que dans l'autre on adopte une combinaison qui se résume en ceci : l'entreprise de distribution se charge uniquement du réseau primaire jusque et y compris le transformateur (ainsi que de la fourniture du courant de haute tension), et le réseau secondaire et tout ce qui concerne la distribution et les relations directes avec le consommateur s'effectuent par de petites entreprises locales (concessionnaires antérieurs, petites sociétés formées spécialement dans ce but).

Souvent cette deuxième solution est imposée par les circonstances, mais, lorsqu'il n'en est pas ainsi, il semble en général préférable de concentrer toute la distribution haute et basse tension d'un réseau étendu dans les mêmes mains, en ce qui concerne du moins les relations avec les abonnés et la propagande, pour nombre de raisons, dont la principale est que la propagande (dont je pense avoir montré suffisamment l'impérieuse nécessité) ne peut être efficace dans une région que si elle

est faite méthodiquement, ce qu'on ne peut attendre de petites sociétés locales.

D'autre part, surtout au début pour favoriser l'expansion des applications nouvelles, il pourra être nécessaire de faire des conditions spéciales aux premiers clients; d'adopter parfois des combinaisons temporaires, locations ou vente-locations, en un mot de se livrer à des opérations d'ordre aussi bien commercial que technique, nécessitant d'une part une connaissance de la question et d'autre part un doigté qu'on ne peut généralement attendre de petites entreprises locales.

Nous en arrivons ainsi par une voie toute naturelle à la question des tarifs et des conditions de fournitures du courant, qui peuvent avoir une influence importante en bien ou en mal sur le développement de la consommation. La plupart du temps ces tarifs sont établis d'une manière absolument arbitraire et sans tenir aucun compte des conditions agricoles et locales. On fixe le plus souvent un prix séparé pour la lumière et pour la force avec, très fréquemment, un tarif dégressif pour la force établi de façon absolument arbitraire et portant uniquement sur le total de la consommation annuelle, sans paraître s'inquiéter de savoir comment se répartit la charge ni si on ne pourrait pas en obtenir une répartition plus avantageuse. Parfois on interdira bien d'employer la force motrice pendant les heures d'éclairage, mais souvent on ne prend même pas cette précaution.

En tous cas on ne paraît en aucune façon savoir qu'on pourrait augmenter la consommation de force motrice pendant l'été en diminuant d'autant celle d'hiver, en adoptant pour la force motrice un tarif variable suivant les saisons, ceci s'appliquant notamment au battage pour lequel l'agriculteur trouverait facilement dans une certaine mesure le moyen de modifier les époques de ses plus fortes consommations.

D'autre part on peut se demander s'il est bien indispensable d'avoir un tarif force et un tarif lumière, la consommation force étant en général, ainsi qu'on l'a vu, bien supérieure à celle de lumière. De plus, il est bon dans les relations avec les agriculteurs d'éviter autant que possible toutes les complications inutiles; avec le double tarif c'est la même marchandise prise au même moment qu'on fait payer un prix différent suivant l'usage auquel on le destine (sans compter les inconvénients de la double canalisation).

Au point de vue du producteur lui-même le double tarif simple est en réalité également illogique; que l'abonné emploie son courant pour actionner un concasseur pendant les heures d'éclairage au mois de décembre, le résultat sera tout aussi mauvais que s'il avait allumé des lampes, d'autant plus que ce concasseur ne fonctionnant que très peu de temps pendant toute l'année immobilisera à la station génératrice une puissance de machine qui sera extrêmement mal utilisée.

D'autre part l'agriculteur payant toujours le même prix pour sa force motrice, quelle que soit l'époque de l'année à laquelle il la prend, n'a aucun intérêt à chercher à la prendre au moment où elle est le moins gênante pour l'usine, tandis que pour les battages par exemple il lui est en réalité possible de modifier, tout au moins dans une forte proportion, l'époque ou les heures de son maximum de consommation.

Pour ces différentes raisons il semble donc qu'un tarif tel que le suivant soit susceptible de favoriser l' augmentation de la consommation tout en en assurant une meilleure répartition:

1° un prix de base variable suivant la saison, maximum en hiver, minimum en été, de mai à septembre;

2° une bonification sur le tarif ci-dessus à partir d'un certain minimum annuel de consommation par cheval installé ou par lampe;

3° une réduction supplémentaire pour les agriculteurs s'obligeant à ne pas faire fonctionner leurs moteurs pendant les heures d'éclairage.

Un seul tarif force et lumière.

L'observation de cette condition pourrait être assurée par exemple par l'installation d'un commutateur empêchant le fonctionnement simultané de la force et de la lumière.

Un tarif établi sur ces bases serait simple et donnerait très probablement une meilleure répartition de la consommation.

On pourrait évidemment chercher d'autres combinaisons, dans le détail desquelles il serait trop long d'entrer ici, pas plus que je n'examinerai la question des contrats avec les municipalités pour les besoins communaux, la distribution de l'eau, ou encore les contrats avec les entrepreneurs de battage et autres.

Toutefois avant de terminer il est nécessaire d'attirer l'attention sur ce fait, qu'en présence du dépeuplement rapide des campagnes et des exigences croissantes de la main d'œuvre les

agriculteurs seront très rapidement dans la nécessité matérielle de recourir à des moteurs mécaniques.

Il se passera ce qui s'est déjà passé pour les moissonneuses lieuses par exemple, dont l'emploi s'est généralisé en une ou deux campagnes dans nombre de régions où elles n'avaient pour ainsi dire pas pénétré jusqu'alors pour la raison simple que l'agriculteur n'avait plus que le choix ou d'employer les moissonneuses ou de ne pas faire sa récolte.

Il en sera de même presque certainement dans la plupart des régions agricoles en ce qui concerne les moteurs inanimés, et dans un délai très court les agriculteurs seront contraints de les employer s'ils veulent faire leurs travaux.

Mais par contre, s'ils n'ont pas à choisir entre la culture mécanique et les errements actuels, ils auront dans nombre de cas le choix entre le moteur électrique et le moteur à explosion, dont la concurrence, qui n'est dès maintenant nullement à dédaigner pour les entreprises de distribution d'électricité, peut devenir très sérieuse pour elles si, comptant sur le développement spontané des applications du moteur électrique, elles ne font rien pour les faciliter et les propager rapidement.

La continuation de leur indifférence actuelle à l'égard de l'agriculteur le rejettera infailliblement vers le moteur à explosion. Au contraire, une étude de ses besoins, une propagande convenable, le développement des réseaux, (après peut-être une période préliminaire de courte durée) assureront aux producteurs d'énergie électrique une partie importante de cette clientèle agricole qui, pour être restée jusqu'à présent à l'état latent, n'en deviendra pas moins considérable dans un délai très bref.

Conclusion.

Les conclusions *actuelles* qui paraissent devoir être tirées de l'examen de la question sont les suivantes:

1° L' électroculture proprement dite (action de l' électricité sur la végétation) n'étant pas encore sortie de la période expérimentale, on ne peut prévoir à quelle époque elle entrera dans la pratique agricole ni quelle consommation d'énergie elle peut entraîner;

2° Les travaux de culture proprement dits et notamment le labourage par l'électricité, bien qu'ayant reçu un certain nombre d'applications, ne se sont pas développés pratiquement, pour des raisons aussi bien économiques que techniques. Il semble que ces applications pourront prendre une certaine généralité seulement lorsqu'elles seront réalisées au moyen d'installations fixes permettant d'effectuer électriquement tous les travaux de culture et pas seulement quelques-uns d'entre eux.

Cette condition ne pouvant être realisée que par des modifications dans l'état actuel de la répartition de la propriété, il ne semble pas que ces applications puissent prendre immédiatement une grande extension, en France tout au moins;

3° Les applications d' intérieur de ferme et au battage des céréales sont déjà entrées dans la pratique courante. Bien qu'elles paraissent ne pouvoir prendre tout le développement dont elles sont susceptibles que lorsqu'on aura groupé tous les travaux d'intérieur de ferme pour les exécuter au moyen d'installations fixes spécialement combinées dans ce but, elles constituent dès maintenant un débouché sans cesse croissant pour les producteurs d'énergie électrique;

4° Ces applications peuvent de plus être développées par une étude approfondie des conditions agricoles, par une propagande méthodique et l'éducation progressive des agriculteurs, ainsi que par la collaboration avec les divers groupements agricoles;

5° Ce sont surtout les entreprises de distribution d'électri-

cité qui ont intérêt à développer les applications agricoles, notamment à cause de la concurrence des moteurs à explosion (1).

En terminant, je tiens à renouveler mes plus vifs et plus sincères remerciements à tous ceux qui ont bien voulu me prêter leur précieux concours.

---

(1) Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici les conclusions auxquelles j'étais arrivé au dernier Congrès de Marseille (septembre 1908) :

I. L'électroculture ne présente pas, en général, de difficultés techniques.

II. Son non-développement s'explique par certaines conditions techniques et économiques, principalement dues aux conditions dans lesquelles le courant nécessaire était produit jusqu'à présent (centrales faibles, prix de revient élevé).

III. Cette situation est susceptible d'être modifiée avantageusement par la création de réseaux puissants livrant le courant à bas prix.

Inversement, les applications agricoles constituent un débouché important, susceptible de faciliter l'extension de ces réseaux.

IV. Le développement des applications de l'électricité aux travaux de culture, en particulier au labourage, qui absorbe le plus d'énergie, dépend, pour une grande part, de modifications aux méthodes actuelles de culture.

V. Ce développement sera facilité par une propagande convenable des entreprises de distributions.



NOTIZIE

SULLE

APPLICAZIONI ELETTRICHE

presso il R. Esercito Italiano.

Maggiore Generale DOMENICO CARBONE (Torino).

Proemio.

Chiamato a rappresentare l'Amministrazione della Guerra al Congresso Internazionale di applicazioni elettriche, io mi son chiesto — e la domanda mi è parsa naturale, oltre che doverosa — quale opera era stata sinora svolta dall'Amministrazione della Guerra in fatto di applicazioni elettriche e quale contributo di studi, d'invenzioni, di perfezionamenti aveva saputo dare il personale dell'Esercito nostro a tale importantissimo ramo dell'ingegneria moderna.

Questo lavoro di sintesi sull'opera del nostro Esercito non era stato sinora fatto; e poi che il farlo mi è parso interessante, mi sono rivolto, per autorizzazione ottenutane dal Ministero della Guerra, a quante autorità e a quanti colleghi avrebbero potuto fornirmi dati relativi alle ricerche anzidette, pur non dissimulandomi le difficoltà che, ad assolvere il còmpito assuntomi, avrei incontrato, a causa specialmente della ristrettezza del tempo a disposizione e a causa altresì del fatto che la più parte degli Ufficiali, ai quali le notizie si richiedevano, erano in questo momento altrove impegnati per esercitazioni e manovre militari.

Nullameno la messe di notizie, in brevissimo tempo raccolte, fu superiore ad ogni aspettativa, grazie al premuroso interessa-

mento con cui all'appello risposero autorità e colleghi, ai quali tutti mi riesce doveroso e gradito di porgere vivissime grazie.

Messe abbondante fu quella raccolta, ma pur troppo, a causa delle difficoltà dianzi accennate, non completa; e nullameno sufficiente per procurare all'animo soddisfazione, derivante dalla confortante constatazione fatta che l'Esercito, non solo non si è disinteressato delle discipline elettrotecniche, il che era bene noto, ma ha continuamente e prontamente cercato di trarre profitto — pel perfezionamento dei servizi dell'Esercito stesso in pace e in guerra — di quanti progressi, nel campo scientifico e delle applicazioni industriali, si sono in questi ultimi anni, con quella rapidità meravigliosa che è la caratteristica del nostro tempo, realizzati.

Dirò ancora — e ciò è motivo di soddisfazione maggiore — che, in talune applicazioni pratiche ed in talune concezioni teoriche Ufficiali e istituti dell'Esercito furono dei veri precursori.

Soggiungerò infine che, data la cura speciale con cui presso il nostro Esercito sono incoraggiati gli studi di elettrotecnica, si può pure con sicurezza affermare che nè il buon volere, nè la cultura faranno difetto nei nostri Ufficiali tecnici e nel personale tecnico civile chiamato a cooperare con gli Ufficiali, affinchè l'Amministrazione della Guerra mantenga sempre, nel rapido svolgersi dei progressi di questa scienza meravigliosa, un posto di onore.

Quanto qui di seguito, nel modo più sintetico, esporrò circa le applicazioni elettriche che si son fatte negli stabilimenti militari, circa la organizzazione dei servizi tecnici presso le truppe in campagna. circa il contributo della scienza elettrica nelle diagnosi e nelle cure mediche e chirurgiche, circa l'ordinamento degli studi di elettrotecnica nei nostri istituti d'istruzione, e infine circa il contributo personale di studi e di ricerche da parte di Ufficiali c di funzionari civili dell'Amministrazione della Guerra, varrà, spero, a fare ritenere giusto l'apprezzamento che sull'opera proficua del nostro Esercito ho portato, e giustificata altresì la fiducia che ho espressa sul promettente contributo avvenire di perfezionamenti da parte di Ufficiali e funzionari del nostro Esercito, che vanta non pochi appassionati e valenti cultori delle discipline elettrotecniche.

I.

Applicazioni elettriche negli stabilimenti e nei cantieri di costruzioni militari.

Gli stabilimenti militari destinati all'allestimento di materiali da guerra, avendo una funzione analoga a quella degli stabilimenti industriali, non potevano rimanere estranei alla rivoluzione che l'elettrotecnica ha portato ovunque e specialmente nel campo industriale; conseguentemente la tecnologia militare non poteva non subire una evoluzione parallela a quella che nel campo industriale si è compiuta in relazione alle applicazioni d'elettricità.

Venti anni fa erano pochi gli stabilimenti militari che avessero, anche per limitate applicazioni, qualche impianto elettrico; oggi, dai grandi stabilimenti (arsenali, officine di costruzioni, fabbriche d'armi, laboratori pirotecnici, ecc.) ai piccoli laboratori annessi a direzioni di artiglieria o presso reparti di truppe tecniche, si può dire che quasi tutti si giovino dell'energia elettrica, prodotta da impianti proprii o fornita da società industriali o da servizi municipalizzati, per mettere in moto le macchine operatrici destinate alle diverse lavorazioni e per far funzionare apparecchi accessori utili al regolare andamento degli stabilimenti stessi.

Un esame sommario del modo come negli stabilimenti di recente fondazione, o che sono in via di subire notevoli trasformazioni od ampliamenti, si cerca di addivenire alla sistemazione degl'impianti elettrici, consente di mettere in rilievo le seguenti tendenze.

Nella scelta delle macchine motrici destinate ad azionare elettrogeneratori, là dove non sia possibile usufruire di cadute idrauliche, vengono generalmente, almeno per piccole e medie potenze, preferiti i motori ad olio pesante (specialmente quelli del tipo Diesel) ai motori a gas povero ed alle motrici a vapore; e ciò è conforme alle vedute della maggioranza dei tecnici, che reputano opportuno sottrarsi alla servitù del gassogeno o della caldaia a vapore, e nell'istesso tempo vogliono giovarsi dell'elevato rendimento e del regolare funzionamento dei motori ad accensione spontanea.

Nei nuovi impianti idraulici si tende a dare la preferenza alle turbine americane, come sono quelle del tipo FRANCIS, od alle ruote Pelton, che fra i motori idraulici hanno segnato in questi ultimi anni un saliente progresso.

Nelle installazioni elettriche per lavorazioni, — ridotte od abolite le trasmissioni con cingoli —, vi ha tendenza a sostituire queste con trasporti locali di energia elettrica, frazionata su motori di piccola potenza direttamente connessi alle macchine operatrici.

Nei nuovi impianti eseguiti completamente dall'Amministrazione militare, la produzione di energia vien preferita sotto forma di corrente alternata, ordinariamente quella trifase, che permette l'impiego dei motori asincroni a campo rotante. Nei casi in cui l'energia è somministrata da società industriali o da impianti municipali, poichè nella maggior parte dei casi la medesima energia vien fornita sotto forma di corrente alternata ad alta tensione, si ricorre a stazioni di trasformazione per ridurla a quella tensione pratica adottata comunemente per i motori di limitata potenza. Per alcune applicazioni, per le quali si renda indispensabile l'impiego della corrente continua, come ad esempio nelle applicazioni elettrolitiche, si ricorre a gruppi convertitori od alle commutatrici per trasformare la corrente alternata. In alcuni altri impianti, nell'intento di ridurre la tensione della corrente continua ai limitati valori richiesti da alcune applicazioni, come ad esempio dalla galvanostegia, s'impiegano trasformatori rotativi.

E qui giova mettere in rilievo che diversi stabilimenti militari si dedicarono con buon esito anche alla costruzione di materiali elettrici occorrenti al proprio esercizio, cominciando dall'allestimento dei generatori, dei motori, dei trasformatori statici e rotativi e delle parti accessorie, che corrisposero pienamente alle condizioni imposte dalle relative installazioni e funzionano da tempo con buon rendimento (ad esempio, presso l'Officina del Genio di Pavia).

Dovremmo ora accennare alla natura e al funzionamento degl'impianti elettrici che si hanno nei vari stabilimenti. Ma poichè parecchi di tali impianti hanno presso a poco eguali caratteristiche, limiteremo l'accenno, nel fine di evitare ripetizioni, ai soli stabilimenti nei quali si hanno particolarità meritevoli di rilievo, riservando di dare in seguito, per gli altri stabi-

limenti (d'artiglieria, officina del genio di Pavia, molini, panifici, gallettifici, calzaturifici, farmacia centrale militare, ecc.), alcuni dati numerici, utili dal punto di vista statistico (allegato *A*).

Fabbrica d'armi di Terni. — Questo stabilimento è in via di trasformazione e di ampliamento, e nel medesimo è pure in via di attuazione una notevole utilizzazione della energia idraulica, per una potenza di circa 1000 HP (fornita dal canale *Nerino* derivato dalla *Nera*). Tale energia viene suddivisa su tre turboalternatori costituiti ciascuno da una turbina americana del tipo FRANCIS ad asse verticale, accoppiata direttamente ad un alternatore trifase. Il campo induttore è alimentato da due gruppi minori (turbodinamo eccitatrici) capaci, occorrendo, di fornire anche l'energia per la illuminazione dei laboratori, degli uffici, dei piazzali e degli alloggi.

L'energia suaccennata viene distribuita per le seguenti applicazioni principali:

a) Funzionamento di 24 motori di potenza compresa fra 3 e 60 HP, e di un motore di 100 HP, i quali sono generalmente connessi alle *macchine operatrici* per mezzo di alberi di trasmissione; il comando degli alberi è ottenuto per mezzo di ruote a " chevron „ tipo WÜST, e con ottimo rendimento. Alcune macchine operatrici, d'impiego intermittente e di limitata potenza, sono direttamente connesse al rispettivo motore.

b) *Produzione di gas ossidrico,* impiegato come sorgente di calore nella fucinatura, nelle tempre, nelle saldature, nei fornelli di riscaldamento, ecc. La corrente trifase viene in appositi convertitori trasformata in continua, per ottenere l'elettrolisi dell'acqua che si produce in voltametri di elevato rendimento del tipo GARUTI-POMPILI-OERLIKON.

c) *Produzione di materiali siderurgici*; mediante l'impiego di uno dei tre turboalternatori si farà funzionare un *forno ad induzione*, alimentato da corrente trifase della stessa tensione stabilita pei motori; per la scelta del tipo si attendono i risultati dei più recenti modelli.

d) Si avranno inoltre nello stesso stabilimento applicazioni varie dell'elettricità, per la nichelatura, il funzionamento di orologi elettrici, di pirometri per misurare la temperatura che si sviluppa nell'interno delle armi durante lo sparo, di elevatori elettrici, di cronografi, ecc. Si soggiunge che il tipo di cronografo elettrico adottato, in sostituzione del vecchio apparecchio

LE BOULANGÉ, fu studiato dal personale tecnico addetto a quello stabilimento, e vari esemplari del medesimo vennero già distribuiti agli stabilimenti d'artiglieria per la misurazione delle velocità dei proiettili lanciati da armi portatili e da cannoni (1).

Polverificio di Fontana Liri. — Anche in questo stabilimento si ha un impianto notevole per la potenza e per la molteplicità delle applicazioni. Quattro turbodinamo forniscono allo stabilimento una potenza di 1200 HP alle sbarre del quadro di distribuzione; nella centrale idroelettrica funziona inoltre una turbina da 100 HP per azionare due compressori d'aria, ciascuno dei quali è capace di assorbire m^3 8,500.

Attualmente le turbine sono del vecchio tipo JONVAL a reazione assiale con asse orizzontale, ma nel prossimo ampliamento dello stabilimento saranno sostituite con turbine di tipo recente. Nel progettato nuovo impianto la produzione dell'energia elettrica supererebbe la potenza di 2000 HP; le attuali turbodinamo verrebbero sostituite con turboalternatori trifasi; e, oltre i motori e gli apparecchi d'utilizzazione dell'energia elettrica per la fabbricazione della balistite e della solenite e pei servizî accessorî, è prevista una rete interna di trazione elettrica sistema misto, e cioè con accumulatori e trolley.

Officina di costruzione d'artiglieria di Torino. — Oltre gl'impianti destinati a fornire energia per azionare le macchine operatrici, merita di essere segnalato il buon funzionamento di un forno elettrico (ad arco) ideato dal Maggiore d'artiglieria STASSANO, per la produzione degli acciai speciali. Questo forno, della potenza di 200 HP, è alimentato da una corrente trifase fornita da una Società locale alla tensione di 3000 V ed abbassata a 80 V per l'impiego del forno istesso.

Arsenale d'artiglieria di Torino. — Vi si hanno tre turbodinamo, le quali forniscono un'energia di circa 180 HP, destinata ad alimentare 49 motori. È prevista la creazione di una riserva di energia della potenza di circa 150 HP che sarà fornita da una Società locale. E poichè la medesima energia sarà provvista sotto forma di corrente trifase, si provvederà alla sua

(1) Un esemplare si vedeva presso l'Esposizione in Torino.

trasformazione in continua mediante tre convertitori (*Umformer*), che sussidieranno le sbarre a corrente continua.

Officina di costruzione d'artiglieria di Genova. — Il relativo impianto merita di essere segnalato, come applicazione del principio del frazionamento della forza motrice. Una potenza di 430 HP è ripartita in 56 motori accoppiati direttamente alle varie macchine operatrici.

Laboratorio di precisione di artiglieria in Roma. — Questo stabilimento impiega come forza motrice esclusivamente l'energia elettrica, la quale viene fornita dalla Società Anglo-Romana sotto forma di corrente alternata a 110 V e 45 periodi.

Lo stabilimento possiede inoltre un'officina elettrica di produzione, messa in azione da un motore DIESEL di 80 HP effettivi a 2 cilindri e 200 giri, accoppiato con cinghia ad un alternatore trifase della potenza di 68 KW a 120 V con velocità angolare di 900 giri al minuto.

Un gruppo di trasformazione (motore-dinamo) di 62 KW carica una batteria di 60 accumulatori stazionarî TUDOR della capacità di 290 Amper-ora a 10 ore di scarica.

La stazione elettrica è destinata a fornire l'energia allo stabilimento ed alle officine della Direzione d'Artiglieria nelle ore in cui l'energia non è fornita dalla Società Anglo-Romana.

La distribuzione della forza motrice è fatta con motori a campo rotante, di cui 9, di potenza compresa fra 15 e 5 HP, sono destinati a mettere in moto le trasmissioni, ed altri di potenza compresa 0,5 e 2 HP sono accoppiati alle rispettive macchine operatrici; e si può dire che nei nuovi laboratori ogni macchina operatrice ha un motore a sè.

Esiste inoltre nello stabilimento una sezione di galvanostegia per l'argentatura, la nichelatura, la ramatura, ecc., ecc., dei metalli, i cui bagni elettrolitici sono alimentati da un convertitore della potenza di circa $^1/_2$ KW alla tensione di 6 *volts*.

Laboratorio pirotecnico di Capua. — Merita di essere segnalato in questo stabilimento il funzionamento di un piccolo forno elettrico ad arco della potenza di circa 15 HP.

Istituto geografico militare. — Qui l'energia elettrica viene impiegata particolarmente come forza motrice pel funzionamento

dei torchi litografici e calcografici e delle macchine per tagliare, cilindrare e ripiegare la carta destinata ai lavori cartografici e per la macinazione dei colori.

Di un'altra applicazione della elettricità per la riproduzione delle carte geografiche (fotoincisione galvanica) diremo più sotto, trattando delle applicazioni varie.

Cantieri di costruzioni del genio militare. — Nei cantieri di costruzioni di qualche importanza, affidati alle Direzioni ed agli uffici del Genio Militare, si è fatto in questi ultimi tempi largo impiego dell'energia elettrica, per lavorazioni diverse. Meritano di essere ricordate le seguenti applicazioni fatte dalla *Direzione Autonoma del Genio Militare di Spezia per la Marina*:

1° Impiego delle perforatrici elettriche (1) nella cava demaniale di Cardimara, per ottenere il pietrame occorrente per le scogliere di fondazione dei moli e delle banchine (2).

2° Impiego di motori a biga con verricelli azionati da motori elettrici a corrente continua e batterie d'accumulatori, per le manovre dei grossi pesi nei lavori idraulici.

3° Impastatrici azionate da motori elettrici, per la preparazione del calcestruzzo occorrente nelle gittate e nella costruzione dei massi artificiali.

4° Battipali muniti di verricelli di frizione, azionati da motori elettrici, per sollevare magli del peso di 500 e 1000 Kg.; tra gli altri un battipalo speciale con maglio allungato di 2500 Kg., per battere pali sul fondo del mare ad un'altezza d'acqua di 10 m.

Anche la *Direzione del Genio di Venezia* fece in questi ultimi anni largo impiego di energia elettrica per azionare battipali impiegati nella costruzione di opere di fortificazione.

Infine meritano di essere ricordati alcuni impianti elettrici pel funzionamento di *linee teleferiche* in servizio delle fortificazioni in zone montuose, e i numerosi impianti elettrogeni in via di attuazione per l'illuminazione e la ventilazione delle opere di fortificazione e di gallerie da mina.

---

(1) Le perforatrici elettriche furono adoperate anche nei lavori dello Chaberton.

(2) Vedasi il libro del Ten. Colonnello del genio BARBERIS (edito per cura del Ministero della Guerra), *Sulla costruzione dei muri d'approdo su fondo fangoso.* Roma, Tip. Coop. Sociale, 1909.

II.

Applicazioni dell'elettricità ai servizi tecnici presso le truppe in campagna.

Tali applicazioni riflettono essenzialmente la telegrafia, la telefonia, la radiotelegrafia, l'accensione elettrica delle mine e l'illuminazione lontana del terreno mediante proiettori.

Telegrafia. — Nella telegrafia militare la macchina MORSE resiste tuttora alle tendenze innovatrici (1); nelle linee aeree, al filo di ferro galvanizzato fu in questi ultimi anni sostituito il filo bimetallico di acciaio e rame; e nelle linee volanti al filo di rame rivestito di guttaperca fu sostituito un cordoncino flessibile di trecce di rame. Ma le maggiori ricerche furono essenzialmente rivolte alla determinazione ed alla scelta di un generatore di corrente che riuscisse superiore alla pila regolamentare del tipo MARIE DAVY con vaso di ebanite, la quale è costosa e d'incomodo trasporto.

Taluno propose di sostituire alla pila un generatore elettromagnetico messo in moto da un contrappeso, o da un pedale, o da congegno d'orologeria (2); altri ritenne preferibile mantenere la pila, perfezionandola (3).

La esperienza dimostrò che al generatore elettromagnetico è da preferire, anche nei riguardi della telegrafia da campo, la pila elettrica.

---

(1) Il capitano RICHIERI, dei Bersaglieri, ideò una macchina *Morse* di piccolo modello, impiegabile dai bersaglieri ciclisti o da pattuglie di cavalleria, per intercettare o ricevere dispacci, col metterla in derivazione sulle linee telegrafiche esistenti.

(2) L'idea fu del Capitano del genio (oggi Maggiore) CANTONO, che presentò un ingegnoso modello.

(3) Fra questi il Tenente Colonnello (oggi Maggior Generale) MARANTONIO, al quale si deve la prima idea della pila a liquido immobilizzato, concretata poi nella pila G. M. studiata dallo stesso generale, con la collaborazione del capo-tecnico NOVARETTI.

I vari tipi di pila a secco esistenti in commercio non corrisposero in modo soddisfacente alle prove eseguite, specialmente perchè, anche a circuito aperto, subivano alterazioni.

Dopo qualche tentativo si addivenne alla adozione della pila G. M. (genio militare), che è di facile e lunga conservazione, fornisce una forza elettromotrice quasi costante, è di facile trasporto e di limitatissimo costo; e quindi corrisponde a tutte le esigenze di una pila da campo (1).

Telefonia. — La telefonia militare ha seguìto da presso i notevoli progressi realizzatisi di recente in questo diffusissimo mezzo di corrispondenza. Già da anni al semplice telefono magnetico fu aggiunto il microfono con pila e relativo rocchetto d'induzione; verso il 1902 fu adottato il microfono DELVILLE, a granuli di carbone con lastra pure di carbone; nel 1904 questo microfono cominciò ad entrare nella telefonia da campo combinato con tipi di pile a secco, del commercio; l'adozione della pila G. M., innanzi ricordata, facilitò l'introduzione, anche negli apparati telefonici da campo, del microfono, mentre il telefono trasmettitore fu conservato solo negli apparati telefonici destinati a stabilire la corrispondenza a breve distanza.

Al Generale MARANTONIO devesi l'apparato microtelefonico per bersaglieri ciclisti e per pattuglie di cavalleria, apparato di limitate dimensioni, molto leggiero, e che riesce di facile trasporto. L'apparato stesso, oltre a permettere, servendosi delle linee esistenti, la corrispondenza telefonica fra le pattuglie, si presta anche ad intercettare dispacci telegrafici ed a riceverli " auditivamente ", e, per un particolare dispositivo adottato, non dà luogo a sottrazione sensibile di corrente, quando è applicato in derivazione ad una linea telegrafica; di guisa che, anche da apparati delicatissimi, non può essere segnalata la presenza di una tale derivazione.

Giovandosi di tale dispositivo, quest'apparato può essere im-

---

(1) In questa pila l'elettrodo positivo (carbone) è circondato da un sacchetto contenente un miscuglio formato da biossido di manganese, cloruro di ammonio, cloruro di zinco, grafite: il liquido, costituito dall'acqua, è immobilizzato da uno strato di cotone idrofilo: il vaso di zinco esterno, di forma cilindrica, come in alcune pile del commercio, forma l'elettrodo negativo.



piegato come eventuale sussidio per la ricezione di segnali trasmessi da una ordinaria stazione Morse (1).

Altri importanti perfezionamenti sulla telefonia da campo devonsi al Maggiore del Genio ANZALONE, il quale concretò un apparato microtelefonico, in cui i suoni sono resi con notevole intensità senza che occorra di avvicinare la bocca al padiglione del microfono. Devonsi allo stesso ufficiale uno speciale apparato telefonico da muro, un trasmettitore telefonico per stazioni telemetriche e telegoniometriche, ed infine una cuffia per batterie da costa.

Presso il 3° Reggimento Genio (Telegrafisti) si hanno in prova apparati per la trasmissione simultanea di dispacci telegrafici e telefonici e per la trasmissione multipla di dispacci telegrafici, ed esperienze diverse furono eseguite per l'adozione di telefoni altoparlanti, utilissimi specialmente nel servizio di batteria, non solo per la ricezione di avvisi dagli osservatori di batteria, ma anche per la trasmissione in batteria di comandi, da parte del comandante che trovisi a qualche distanza dai pezzi.

Radiotelegrafia (2). — L'importanza di questa geniale applicazione delle moderne conquiste della scienza elettrica agli usi

---

(1) L'apparato è costituito da un microfono a granuli di carbone: da una chiamata fonica ottenuta facendo funzionare il rocchetto di RUHMKORFF con due elementi di pila G. M. Il filo secondario del rocchetto è diviso in due parti dando luogo alla formazione di 2 rocchetti che funzionano come una capacità.

(2) La possibilità di avere un telegrafo senza fili fu intuita, **53 anni or sono**, da un distintissimo ufficiale del genio, FRANCESCO SPONZILLI, allora Tenente Colonnello nell'esercito napoletano.

Non si può oggi leggere senza meraviglia e ammirazione quanto egli scriveva nel 1858 in una Memoria inserita negli *Annali delle opere pubbliche e dell'architettura* ed avente per titolo *Ricerche intorno ai parafulmini*; e noi crediamo di far cosa grata non solo all'ambiente militare, ma a quanti italiani sono cultori delle scienze elettriche, riportando le parole del dotto ufficiale, che fu un vero precursore della telegrafia senza fili, la quale doveva a un altro italiano il suo trionfo.

" Se l'Etere, sotto forma di luce, viene da sè a pingere una immagine sulla " nostra retina, con i modi del suono viene da sè a molcere il nostro orecchio " con le dolci note della melodia; per le ignote strade magnetiche viene da " sè a regolare le nostre bussole nautiche e fedelmente indicarci la sicura via

militari, appare evidente quando si consideri l'immensa importanza che ha la sicurezza della pronta trasmissione di notizie in guerra, e si pensi a tutte le ricerche ed ai tentativi fatti in quest'ultimo trentennio per aumentare la portata della telegrafia ottica ed assicurarne il buon funzionamento nelle varie condizioni di tempo e di luogo, specialmente quando manchino o siano state interrotte le altre comunicazioni stabilite con linee telegrafiche o telefoniche.

" del Polo; non potremmo noi avere una ragionevole speranza che *lo stesso* " *Etere ancora da sè venisse, e senza esservi costretto dal ferreo vincolo di un* " *conduttore, ad animare una macchinetta telegrafica*, per favorirne nelle nostre " corrispondenze col mezzo dell'elettricità?

" Il desiderio è meno ardito di quello che parer potrebbe a prima vista; " anzi, esso nelle cose odierne della telegrafia elettrica, già si trova ottenuto " per metà!

" Nei nostri primi apparecchi telegrafici, i fili conduttori erano due, e for- " mavano l'inalterabile circuito, l'esatta chiusura ed incolumità del quale erano " già credute condizioni *sine qua non*, per avere stabilita una corrente vol- " taica fra due reomotori opposti.

" Il filo ora è uno solo! Il circuito è rotto, e così rotto, anche adempie " benissimo all'officio suo! La terra che prima si credeva che disturbasse le " correnti, la terra ora si è veduto che le favorisce!

" Insomma, ove io qui mi facessi modestamente a dire di una qualche pro- " babilità che aver si potrebbe per una *corrispondenza telegrafica elettrica* " *senza filo alcuno*, forse farei ridere i molti che in queste cose sono maestri " miei; ma son certo di non trovar pur uno fra questi miei maestri che for- " mular potesse una dimostrazione senza replica di aver io profferta un'as- " surdità.

" Il riso dei dotti, in questa occasione, non potrebbe riceversi come dimo- " strazione contraria alla proposta.

" Si rise forte in Inghilterra quando Arago parlò delle aurore, le quali, " diceva, avevano azione sopra gli aghi magnetici posti immensamente fuori " la visuale del fenomeno. Dopo il riso si è trovato che, non solo gli aghi " lontanissimi ne risentivano, ma anche i lontanissimi fili dei telegrafi elettrici.

" Si rise e si fece anche peggio di ridere, quando Pouillet e Matteucci " parlavano della conducibilità della terra e proposero di farla funzionare come " metà del circuito nei telegrafi elettrici. Il riso non ha impedito così bella " ed interessante modifica.

" Si rise del moto della terra intorno al sole; si rise del vapore come forza " motrice, si rise dell'elica; quindi io non mi avrò certamente a male se si " riderà della mia profferta. — *Habent sua sidera...* anche le profferte che " muovono alle risa.

Era naturale pertanto che, non appena annunziata l'invenzione del MARCONI, l'Esercito si desse premura di trarne pronto profitto per organizzare un servizio radiotelegrafico da campo ed installare stazioni permanenti per comunicazioni militari.

La prima applicazione del sistema MARCONI, intuito meglio che conosciuto, fu fatta nel 1902 dal Tenente Colonnello del Genio MARANTONIO (oggi Maggior Generale), fra Piacenza e Gossolengo, mediante uno speciale sistema che funzionò per parecchio tempo in modo più che soddisfacente. — Sotto la direzione di questo stesso ufficiale furono più tardi eseguite, con buoni risultati, non poche prove di trasmissione con gli apparecchi MARCONI fra M. Mario (Roma) ed una stazione da campo. — Alle grandi manovre del 1903 funzionarono due stazioni mobili da campo, consigliate dallo stesso MARCONI, ma che non diedero risultati molto soddisfacenti, forse perchè il radiatore era troppo basso e la stazione richiedeva per la sua installazione una estesa superficie di terreno perfettamente sgombra, che non era possibile di trovare ovunque (1). — Dopo il 1903 il servizio radiotelegrafico passò al battaglione specialisti del genio, ed i progressi realizzatisi da allora ad oggi sono stati veramente notevoli.

Il sistema di trasmissione adottato per le stazioni radiotelegrafiche del R. Esercito è sempre quello MARCONI, a scintilla rada, con aerei *Marconi* orizzontali per le stazioni da campo, e

---

" Quando Dollond (1788) disse di aver fatto lenti acromatiche, il gran " Newton disse che questa la era cosa impossibile.

" Quando la prima volta si parlò di telegrafi elettrici, uno dei maggiori " scienziati di Europa dichiarò tale idea una sublime utopia.

" Quando Stephenson presentò il progetto del ponte tubolare di Bangor, " il signor W. Pasley, ispettor generale delle ferrovie d'Inghilterra, lo rifiutò " come ineseguibile.

" Le trasformazioni dell'Etere, molteplici, lontane, contemporanee, celeris" sime, distinte, e mai sempre meravigliose e circondate dal mistero, non " solamente presentano un vasto teatro adatto ad ammirar prodigi, ma un " vasto campo presentano ancora, a lasciar sperare ed a tentare prodigi no" velli..... ".

(1) È doveroso accennare che alla buona costituzione delle nostre stazioni radiotelegrafiche da campo s'interessò lo stesso illustre MARCONI, i consigli del quale e l'opera del suo rappresentante in Italia, il Comandante marchese SOLARI, molto giovarono al perfezionamento dei nostri servizi radiotelegrafici.

con radiatori ad ombrello per le stazioni permanenti. Il ricevimento è generalmente auditivo, impiegandosi invece del *coherer* (pei noti inconvenienti di quest'apparecchio), il *detector* magnetico MARCONI. Le stazioni *campali* sono da 1,5 KW e da 3 KW, entrambe a traino animale.

Le stazioni da campo da 1,5 KW hanno, in terreno pianeggiante, una portata di 100 Km.: il radiatore è costituito da 4 fili posti orizzontalmente e lunghi 120 metri, sostenuti da 2 o 3 antenne di legno, scomponibili, alte 15 m.; le estremità dei fili scendono verso terra e si riuniscono in un sol conduttore, che fa capo agli apparecchi di trasmissione e di ricevimento.

L'energia per il funzionamento delle stazioni radiotelegrafiche da campo è prodotta da un gruppo elettrogeno costituito da un motore a benzina e da un alternatore.

Per minori portate si usano aerei di lunghezza inferiore ai 100 m., fino a quella minima di 60 metri. La lunghezza delle onde elettromagnetiche fornite da questa stazione varia fra i 300 ed i 1000 m.

Le stazioni campali da 3 KW hanno la portata di 150 Km.; il radiatore, costituito da due soli fili lunghi m. 150, è sostenuto da antenne alte m. 21; la lunghezza d'onda varia fra 600 e 1100 metri.

Alle grandi manovre di quest'anno fu sperimentato il sistema *Marconi* a disco con scintilla musicale, applicato a due stazioni da 1,5 KW, con ricevitore a valvola di Fleeming e *carborundum*. I materiali per le varie stazioni campali furono forniti dalla compagnia MARCONI ed adattati o trasformati dagli ufficiali addetti alla stazione radiotelegrafica. Durante le stesse grandi manovre venne pure esperimentato il traino automobile dei due complessi campali da 3 KW dianzi accennati.

Le stazioni radiotelegrafiche militari *permanenti* sono quelle di Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma (Caserma Cavour) e Roma (Vigna di Valle).

Le stazioni permanenti di Torino, Milano e Firenze hanno un complesso della potenza di 5 KW e sistemi di trasmissione con oscillatore JACOVIELLO. Le stazioni di Bologna e di Roma (Caserma Cavour) sono da 3 KW; quella di Vigna di Valle da $^1/_2$ KW.

Le stazioni di Torino, Milano, Bologna e Firenze hanno una sola antenna di legno alta m. 60 con aereo di 8 fili ad ombrello. L'energia vi è fornita da gruppi elettrogeni fissi; la lun-

ghezza di onda normale è di 1000 metri; la portata in terreno pianeggiante è di 300 Km., meno per quella di Bologna che, avendo ora un complesso della potenza di 3 KW, ha la portata di soli 200 Km.

La stazione permanente di Roma (Caserma Cavour) è sperimentale ed è ordinariamente adibita per la corrispondenza con la stazione di Vigna di Valle. Essa è alimentata dall'energia della rete urbana, mentre quella di Vigna di Valle è alimentata da una batteria di accumulatori. Nelle due stazioni i radiatori sono costituiti ciascuno da quattro fili orizzontali: nella prima stazione tali aerei sono lunghi 70 metri ed alti m. 27 nel punto massimo; nella seconda sono lunghi 100 ed alti circa metri 20.

Presso la sezione r. t. del battaglione specialisti sono in corso studi per la trasformazione del complesso permanente di 3 KW in servizio alla stazione di Bologna, con un complesso di 5 KW sistema musicale MARCONI a disco, e per la trasformazione di tutte le altre stazioni permanenti di frontiera con trasmettitore a disco MARCONI da 3 KW. L'uso della scintilla musicale si va imponendo per sottrarre le ricezioni r. t. alla influenza delle scariche atmosferiche.

È in istudio l'applicazione della radiotelegrafia ai nostri dirigibili, e studi sono pure avviati sulla radiotelefonia mediante l'applicazione delle onde elettromagnetiche persistenti secondo il sistema POULSEN.

E qui è doveroso aggiungere come gli ufficiali della sezione r. t. del battaglione specialisti si dedichino con vero amore e speciale competenza a migliorare le condizioni di funzionamento delle stazioni radio-telegrafiche militari e ad adattarle alle esigenze della corrispondenza presso le truppe in campagna.

Meritano, al riguardo, di essere ricordati il sistema di ricezione sintonica ideato dal capitano del genio BARDELONI, comandante della sezione r. t. (1), e gli studi del tenente del genio SACCO Luigi, al quale devesi uno speciale tipo di ondametro che, oltre a permettere la misura della lunghezza d'onda e tutte le altre misure che interessano la tecnica di una stazione radio-

(1) Ing. C. BARDELONI, Capitano del genio, *Nuovo dispositivo di ricevimento sintonico radiotelegrafico.* " Rivista d'Artiglieria e Genio ", 1909, Vol. IV.

telegrafica, può utilizzarsi come ricevitore e *carborundum* nel caso che quello abituale avesse a guastarsi (1).

Accensione elettrica delle mine. — L'accensione elettrica delle mine fu una delle più antiche applicazioni dell'elettricità, ed anteriore di parecchi anni alle applicazioni elettrotecniche industriali.

Per l'accensione delle primitive capsule od inneschi, detti a scintilla o ad arco, occorrendo forti tensioni, si ricorreva alla corrente delle pile inserite nel primario di un rocchetto di RUHMKORFF, nel secondario del quale, in derivazione od in serie, erano inseriti gli inneschi elettrici collocati nei fornelli da mina.

Furono pure esperimentati, molti anni or sono, *esploditori*, costituiti da una macchina elettrostatica destinata a caricare un condensatore di piccolo volume complessivo e di adeguata capacità, il quale, pel chiudersi del circuito di scarica, dava luogo all'accensione degli inneschi.

Nel nostro Esercito, circa 30 anni or sono, era regolamentare l'esploditore BREGUET che, come è noto, è una macchina magneto-elettrica con calamita lamellare JAMIN, capace di sviluppare una forza elettromotrice di induzione sufficiente per far funzionare e accendere un limitato numero (10 al massimo) d'inneschi ad arco in derivazione.

Nella R. Marina, per l'accensione elettrica delle torpedini fisse, erano in uso, circa un trentennio addietro, gli inneschi o capsule ad incandescenza con filamento a spirale di platino, per l'accensione dei quali inneschi si ricorreva a pile elettriche costituite di un gran numero di elementi. Ciò non dava luogo a inconvenienti perchè le pile avevano una posizione stabile nella stazione di chiusura dei circuiti; invece, presso le truppe in campagna, a causa degli inconvenienti, dianzi accennati, che hanno le pile (inconvenienti che crescono evidentemente col cre-

(1) Oltre i nomi del capitano BARDELONI e del tenente SACCO, ci piace ricordare quelli del generale MARANTONIO, del capitano DELLA RICCIA, del capitano FAILLA, del capitano RANZA e del tenente PACINOTTI, tutti dell'arma del genio, i quali molto si occuparono e con vera competenza della telegrafia senza fili, ed ai quali devonsi notevoli perfezionamenti nei dispositivi d'impianto delle stazioni radiotelegrafiche militari, permanenti e da campo.



scere del numero degli elementi), tale soluzione non si presentava molto pratica.

Si rendeva pertanto necessario d'insistere nella ricerca di un esploditore, capace di sviluppare con continuità una forza elettromotrice sufficientemente elevata per produrre in un circuito di data lunghezza, in cui fossero inseriti in serie od in derivazione un dato numero di inneschi, la corrente necessaria per produrre l'incandescenza delle spirali contenute negli inneschi medesimi. La soluzione del problema fu in Italia felicemente trovata dal capitano del genio CANTONO, mediante l'esploditore che porta il suo nome, il quale è capace di fare esplodere simultaneamente sino a 80 capsule ad incandescenza disposte in derivazione.

Questo esploditore, che è regolamentare presso il nostro Esercito, è una dinamo eccitata in serie, a dodici poli, con indotto ad anello, che, a circuito aperto, raggiunge una forza elettromotrice di 110 Volt, alla velocità raggiungibile colla manovra a mano. Il medesimo esploditore è pure provvisto di speciale dispositivo, che consente di verificare la continuità del circuito prima di provocare l'esplosione.

Proiettori elettrici e parchi fotoelettrici. — L'impiego di proiettori elettrici, per illuminare il terreno attorno alle opere di fortificazione o per dare un mezzo alle truppe campali di garantirsi da sorprese notturne, rimonta a molti anni addietro; ma solo nel 1890 furono organizzati presso il nostro Esercito parchi fotoelettrici, che furono distinti in *pesanti* o *da fortezza* e in *leggieri* o *campali*, entrambi a traino animale.

Un parco fotoelettrico così organizzato comprende: una caldaia KRAUSS a tubi di acqua, destinata ad alimentare un motore ABRAHAM direttamente accoppiato ad una dinamo SCHUCKERT, che fornisce la corrente a lampade ad arco PIETTE e KRITZIK, oppure a lampade ad arco ordinario.

La potenza del motore è di 8 HP nel parco leggiero, di 12 HP in quello pesante. Il diametro del riflettore è di 75 cm. nel primo, di cm. 90 nel secondo. La portata, variabile con la potenza della dinamo e col diametro dello specchio, non supera i 2 Km.

Questi parchi, dimostratisi di difficile funzionamento, anche perchè poco mobili, sono in via di essere aboliti.

D'altra parte i progressi realizzatisi nei motori a combustione

interna a benzina ed il conseguente sviluppo dell'automobilismo permettono ormai di dare al problema una soluzione pratica molto più soddisfacente. E infatti si sono già costituiti due tipi di sezioni autofotoelettriche, uno leggero, e l'altro pesante, per servizio da campo, esperimentati con buoni risultati nelle recenti grandi manovre (1). In questo impianto un carro automobile della potenza da 24 a 30 HP comprende tutto il complesso, costituito dal proiettore con la relativa lampada ad arco e dalla dinamo generatrice della corrente, che è azionata, quando il carro è fermo, dal motore stesso del carro. Il proiettore può facilmente e prontamente venire staccato dall'auto e trainato su apposito carrello sino a distanza di 200 m. dalla stazione motrice (carro automobile).

Con speciali dispositivi manovrabili a distanza si possono ottenere spostamenti azimutali e zenitali del proiettore, e regolare l'apertura del fascio di luce fra il massimo ed un minimo corrispondente quasi al completo oscuramento: con altro dispositivo, pure automatico, la corrente è ridotta ad un quinto dell'intensità normale quando l'iride del riflettore è completamente chiusa.

I proiettori sperimentati hanno specchio parabolico di vetro argentato, con apertura di $0^m,75$ e $0^m,90$, e la dinamo ha la potenza di 5,6 KW, o di 7,5 KW, secondo che si tratta di proiettore di piccola o grande apertura. Con proiettori di apertura di $0^m,90$ si possono vedere truppe in marcia od al lavoro sino a 3 mila m. e caseggiati sino a 6 mila m. Con quelli di apertura eguale a $0^m,75$ si possono vedere truppe nelle dette condizioni sino a 2500 m. e caseggiati sino a 5000 m. (2).

Per illuminare il terreno antistante alle opere di fortificazione sono in studio, anzi in via di attuazione, proiettori elettrici analoghi a quelli della stazione fotoelettrica da campo. Si sono inoltre compiute ultimamente numerose esperienze per illuminare il terreno prossimo alle opere, mediante proiettori di limi-

---

(1) Alle stesse manovre si aveva anche un parco fotoelettrico pesante a traino animale, del modello dianzi descritto, e un parco tipo Schuckert, montato su carro automobile trainante un carrello portante il riflettore.

(2) Per conto dell'Amministrazione della Guerra la Ditta Salmoiraghi presentò all'Esposizione di Torino uno specchio riflettore del diametro di 2 metri!



tata portata, taluni anche non elettrici, ma dotati di molta mobilità per provvedere specialmente alla difesa vicina (1).

Applicazioni elettriche alla fotografia da campo. — Merita di essere ricordato l'impiego della macchina fotografica applicata al pallone frenato e munita di scatto elettrico, comandato da terra a mezzo di una piccola batteria di pile e del cavo del pallone, cavo che è a doppio conduttore. Con tale macchina si ottengono esatti rilievi topofotografici del terreno (2).

III.

Applicazioni varie dell'elettricità a scopi militari.

Queste applicazioni speciali dell' elettrotecnica si riferiscono particolarmente ai *forni elettrici*, ai *servizi aereostatico* e *aereonautico*, a *servizi vari nelle opere di fortificazione*, alla *cartografia militare*, ai *parafulmini*, alle *determinazioni ergometriche* ed alle *investigazioni metallografiche* fatte nei nostri stabilimenti militari.

Forni elettrici. — La più importante applicazione è quella stata fatta nell' officina di costruzione d' artiglieria di Torino, dove, come si accennò nel Capo I, si ha un forno elettrico, ad arco, del sistema STASSANO, per la produzione di acciai speciali. Questo forno è alimentato da corrente trifase con una potenza di 200 HP al potenziale ridotto ad 80 V. Altro forno elettrico ad arco, pel quale si spende un'energia di soli 15 HP, è quello esistente nel laboratorio pirotecnico di Capua.

(1) Il servizio dei proiettori elettrici, destinati ad illuminare gli specchi d'acqua nelle piazze marittime, è affidato alla R. Marina, per accordi intervenuti tra le due Amministrazioni della guerra e della marina. — Le stazioni fotoelettriche di tiro (generalmente distinte da quelle di scoperta lontana e da quelle di vigilanza dei passi) sono però agli ordini dei comandanti delle batterie da costa. — La portata dei più potenti riflettori della Marina difficilmente si estende oltre i 5000 m.

(2) Alla Esposizione di Torino si potevano ammirare due splendidi rilievi fotografici del corso del Tevere e dei dintorni di Pompei, rilievi ottenuti dalla sezione fotografica del Battaglione Specialisti del genio militare. — Crediamo siano lavori unici in Europa.



Aereostatica e Aereonautica. — Per la produzione dell'idrogeno occorrente pel servizio aereostatico e aereonautico — messo da parte l'antico metodo chimico che fu applicato per molti anni nell'officina del Genio di Pavia — venne fatto in Roma presso il Battaglione Specialisti del Genio, un impianto elettrolitico (1). In detto impianto la corrente alternata a 42 periodi ed a 2000 V., fornita dalla rete urbana, viene trasformata a 110 V. e quindi impiegata ad azionare tre motori asincroni accoppiati a tre dinamo a corrente continua (che coi motori formano tre convertitori) facenti capo a tre batterie di voltametri, di cui ciascuna è formata di 18 voltametri in serie. Essendo la tensione delle dinamo compresa fra 45 e 50 V., quella dei voltametri varia fra 2,5 e 2,8. Il liquido sottoposto all'elettrolisi è una soluzione di potassa caustica al titolo di 23 a 35 %. I voltametri, del tipo CARUTTI-POMPILI, sono larghi $0^{m},03$, lunghi $2^{m},32$ ed alti $0^{m},66$, divisi in due scompartimenti longitudinali, dai quali partono i tubi di presa dell'ossigeno e dell'idrogeno; i due scompartimenti sono fra loro isolati da guarnizioni di gomma. La produzione di ciascuna batteria di voltametri di 18 elementi è di m^3 12 di ossigeno e di m^3 24 di idrogeno per un funzionamento giornaliero di 10 ore.

L'elettricità viene pure dal Battaglione Specialisti impiegata, in servizio dell'areostatica e della areonautica, pel movimento delle porte degli hangars, e per azionare le pompe destinate a comprimere l'aria e ad immetterla nei *ballonets* dei dirigibili.

Impianti elettrogeni nelle opere di fortificazione. — Nelle opere di fortificazione l'energia elettrica è normalmente ottenuta con impianti speciali autonomi, generalmente costituiti da motori DIESEL ad olio pesante, direttamente accoppiati a dinamo a corrente continua, e utilizzati per la illuminazione dei vari ambienti e particolarmente per la ventilazione dei locali. La vita, invero, non sarebbe possibile nelle opere di fortificazione, in ispecie nelle moderne, se non si adottassero provvedimenti intesi a scacciare prontamente dall'interno delle opere stesse, i gas micidiali provenienti dallo scoppio dei proietti avversari. Da ciò la importanza che si attribuisce alla soluzione tecnica

(1) Questo impianto non è che sussidiario o di riserva: normalmente l'idrogeno pei palloni e pei dirigibili è fornito dalla *Società Elettrica Bresciana.*



di questo problema vitale, relativo alla ventilazione dell'interno delle opere.

Gl'impianti elettrogeni delle medesime opere possono inoltre venire eventualmente utilizzati per azionare i proiettori elettrici assegnati alle opere stesse, ed anche per facilitare alcune manovre d'artiglieria, per dare, ad es., la voluta direzione ed elevazione ai pezzi nelle batterie da costa, pel sollevamento delle munizioni, pel caricamento dei pezzi, compresa la manovra dell'otturatore, ecc.; per le quali operazioni si adoperano motorini speciali azionanti le singole macchine.

Nell'ordinamento delle opere di fortificazione assumono importanza anche gl'impianti telefonici permanenti, e fra le varie corrispondenze telefoniche hanno importanza specialissima le linee sussidiarie del servizio telemetrico e quelle degli osservatori di batteria, destinate a trasmettere i risultati del tiro mediante apparecchi altoparlanti.

Cartografia militare. — Come si è accennato nel Capo I, presso l'Istituto Geografico militare l'elettricità è impiegata, non solo per azionare macchine operatrici, ma anche per la preparazione della cartografia militare, e precisamente:

a) per l'illuminazione, con lampade ad arco, dei modelli da fotografare e per l'impressione della gelatina bicromata e del bitume giudaico con lampade ai vapori di mercurio nei procedimenti di fotocollografia fotozincografia;

b) nel sistema di fotoincisione galvanica ideato dal generale Avet, ed attualmente sostituito da quello di fotoincisione chimica ideato dal generale Gliamas (1);

---

(1) Il procedimento di fotoincisione *Avet* comprende le seguenti operazioni: Dal modello da riprodurre si eseguisce un negativo rovesciato, al collodio umido o per mezzo di un prisma applicato all'obbiettivo o rovesciando la lastra sensibile.

Sulla lastra rinforzata col solo bicloruro si versa una soluzione di gelatina bicromata. — Si espone la lastra alla luce impiegando un telaio speciale con riflettore a specchio.

Si sviluppa quindi la lastra, tenendola incurvata per circa 36 ore in acqua mantenuta alla temperatura di 30 gradi, e si indurisce la gelatina con un bagno speciale.

Si otterrà così una matrice in gelatina con i segni in rilievo. — Questa si metallizza con grafite e s'introduce nel bagno galvanico. — Sulla lastra si

c) nel procedimento galvanico, ultimamente introdotto nell'officina fototecnica dell' Istituto, per le correzioni derivanti dagli aggiornamenti nelle lastre di rame incise (1).

Misure ergometriche. — Come è noto, gli apparecchi destinati alla misura della potenza delle macchine si possono distinguere in apparecchi dinamometrici, di cui il capostipite è il freno di PRONY, ed in apparecchi ergometrici, detti anche ergometri, di cui, quando si voglia misurare il lavoro disponibile sul ricettore delle macchine a fluido elastico (vapore, gas, aria calda), il tipo fondamentale è l'indicatore di Watt, che in questi ultimi anni ha subìto molti perfezionamenti.

Per la determinazione del coefficente di rendimento generico di una motrice occorrono due misure: una fatta applicando all'albero motore della macchina un apparecchio del primo tipo (PRONY), e l'altra applicando al cilindro un apparecchio del secondo tipo (WATT).

Nel laboratorio per misure sulla potenza dei motori a scoppio

---

viene a formare una pellicola di rame con tutti i segni incisi. Dopo otto giorni si stacca la pellicola dalla matrice di gelatina. — Se l'operazione è ben riuscita, si copre di cera la pellicola dalla parte incisa e si introduce nuovamente nel bagno galvanico, per ingrossarla. — Dopo 17 o 18 giorni si sarà ottenuta una lastra di circa tre millimetri di spessore, la quale viene infine passata agli incisori pel necessario ritocco.

Prima di adoperare il rame inciso per la stampa, si ha la precauzione di ritrarre da esso una matrice destinata a creare un altro rame, allorchè questo pel lungo uso non sia più atto alla stampa.

Per ottenere la matrice si argenta con soluzione di nitrato d'argento e cianuro di potassio la parte incisa del rame, proteggendone con cera il rovescio, e s'introduce nel bagno galvanico. — Dopo circa otto giorni la matrice si sarà formata e si potrà staccare dal rame. — Essa presenterà tutti i segni in rilievo e potrà fornire col metodo stesso altri rami atti alla stampa.

(1) Per apportare correzioni ad una lastra incisa, si riempiono di rame le parti incise da correggere, il che si ottiene con un deposito galvanico di rame. — Si circonda la zona da correggere con un arginetto di cera, si proteggono con vernice le parti che devono subire correzioni e si riempie di soluzione la vaschetta di rame così ottenuta. — In tale vaschetta si immerge uno o più vasetti porosi contenenti acqua acidulata e una lastrina di zinco che è riunita alla lastra di rame con un filo di rame. — Avendo precedentemente isolata la lastra di rame, si ottiene così una pila, ed il rame elettrolitico si deposita sulle parti scoperte della lastra, riempiendo le parti incise.



per automobili, presso il distaccamento del 6° Reggimento Genio (Ferrovieri) in Roma, sono adoperati: una dinamo-freno della casa HILLAIRET HUGUET di Parigi, ed un manografo SCHULTZE.

La dinamo-freno funziona come un freno dinamometrico di PRONY: solo che all'attrito fra l'albero e le ganasce sono sostituite le forze elettromagnetiche fra l' indotto che vien connesso all'albero del motore con speciale giunto a manicotto, e l'induttore mobile, che viene equilibrato, come per lo stesso freno di PRONY, con contrappeso applicato ad una leva. Le misure elettriche eseguite con un wattmetro, oppure con un voltmetro ed un amperometro, permettono di controllare le determinazioni dirette, quando siano conosciuti i valori del coefficente di rendimento della dinamo (1).

Per la seconda determinazione, cioè quella del lavoro *indicato*, si fa uso, nel laboratorio del 6° Reggimento Genio, del manografo SCHULTZE innanzi nominato.

Investigazioni metallografiche. — In alcuni nostri stabilimenti militari è stata applicata l'elettricità per illuminare le sezioni dei metalli, con l'intento di ricavarne delle immagini fotografiche, che, ingrandite, od osservate con lenti d' ingrandimento, permettono di vedere l' intima struttura dei metalli medesimi. Presso l'officina di costruzione d'artiglieria di Genova e di Torino già da qualche anno fu installato un gabinetto per tali osservazioni.

Parafulmini. — Altra applicazione alla quale si rivolse l'attenzione degli ufficiali del Genio fu quella relativa alla costruzione dei parafulmini, basati sulla moderna teoria circa i fenomeni elettromagnetici in relazione alla natura delle scariche atmosferiche ed al modo di comportarsi delle correnti di alta frequenza nei sistemi di conduttori.

E fin dal 1900 veniva diramata una istruzione che, seguendo le moderne teorie, aboliva i vecchi parafulmini ad asta del FRANKLIN e vi sostituiva i parafulmini a gabbia, conformi alle

(1) Questo freno-dinamo è fondato sullo stesso principio su cui è fondato il freno elettrico PASQUALINI, da varî anni in uso presso alcuni nostri stabilimenti militari, fra i quali l'Officina del Genio militare di Pavia.

vedute del MELSENS e del LODGE, istruzione che fu presa a modello e applicata da altre amministrazioni pubbliche (1).

Sistema di blocco ferroviario. — Giova ricordare che al poligono del 6º Reggimento Genio (Ferrovieri) in Torino, àvvi un impianto, a scopo d'istruzione del personale, di un sistema di blocco per linea a semplice binario, del tipo di quelli adoperati nella rete ferroviaria italiana: il controllo e la manovra a distanza dei segnali si ottengono mediante *slots* o consensi elettrici dei tipi usati dalle ferrovie dello Stato.

Trazione elettrica (2). — Merita di essere ricordato che devesi al compianto Colonnello Federico PESCETTO un tipo di accumulatore, che fu adottato inizialmente a Torino ed a Roma per l'esercizio di linee tramviarie urbane.

Al Capitano del Genio CANTONO devesi lo studio e l'attuazione di un treno automobile con carro elettrogeno-automotore e con vetture automotrici a voltata esatta, che era stato preconizzato dal Capitano di Stato Maggiore DOUHET, e che fu esposto e funzionò a Milano nel 1906. — Allo stesso Ufficiale devesi un avantreno elettrico, che può applicarsi a qualsiasi vettura.

Incidentalmente, ricordiamo anche che il Capo tecnico NOVARETTI dell'officina del Genio militare di Pavia, il quale avea attuato felicemente un dispositivo meccanico, applicabile ai treni automobili militari su via ordinaria, ed inteso ad ottenere che i carri trainati compiano tutti la voltata esattamente nello stesso punto, avea pure pensato di applicare il suo sistema di attacco ad un convoglio automobilistico elettrico.

Comandi elettrici a distanza per servizio delle artiglierie. — I movimenti di rotazione delle cupole, impressi mediante rotismi manovrati a mano, riescono difficoltosi e lenti quando trattasi di installazioni di grosse artiglierie. — Vennero perciò studiati dalle Case costruttrici comandi a motore meccanico,

(1) Compilata dal Tenente Colonnello del Genio (oggi Maggior Generale) CARBONE.

(2) Fin dal 1855 il BESSOLO, Ufficiale dell'Artiglieria piemontese, ideava un sistema di trazione elettrica con filo aereo.

che hanno ordinaria applicazione specialmente sulle navi, nelle quali si dispone di energia elettrica per l'illuminazione e per tutti gli altri servizi ausiliari.

Il problema da risolvere consisteva essenzialmente nel trovare un dispositivo che permettesse di avere sull'albero di un motore elettrico degli spostamenti angolari qualsiansi, utilizzando tutta la coppia motrice anche per gli spostamenti piccolissimi del rotore.

Il Capo tecnico d'artiglieria signor GIRARDELLI raggiunse lo scopo mediante uno speciale motore a corrente continua da esso studiato, nel quale ogni spostamento elementare del rotore si inizia colla coppia motrice massima di cui è capace il motore stesso.

L'asse del rotore può essere fatto girare spostando le spazzole sul collettore; affidando tale spostamento ad un piccolo servo-motore, si può ottenere il comando automatico a distanza delle artiglierie, col vantaggio di avere correnti assai deboli sulla linea di comando, mentre la corrente principale che alimenta il motore principale percorre una linea che può essere brevissima (1).

IV.

Applicazioni elettriche nelle diagnosi e nelle cure mediche e chirurgiche.

Anche il Corpo Sanitario Militare usufruisce largamente dell'elettricità applicata alla medicina per la cura dei soldati negli Stabilimenti e Ospedali Militari, applicando l'elettroterapia, l'elettrodiagnostica e la radiologia, branche importantissime della terapia fisica.

È per mezzo dell'elettricità medica, infatti, che si provvede alla cura dei postumi delle frequenti lesioni traumatiche nei soldati, cercando di diminuire le inabilità più o meno permanenti al servizio ed al lavoro che ne potrebbero derivare. Ed è notevole l'importanza delle applicazioni elettriche in tutte le

(1) Sono dovuti al Tenente Colonnello RIGHI d'Art. non pochi studi e perfezionamenti nel servizio delle segnalazioni telemetriche, mediante impiego dell'elettricità e comandi a distanza.



forme di neuralgie, paresi e paralisi che rientrano nella medicina comune, ma che pur trovano nell'ambiente militare favorevoli condizioni alla loro manifestazione.

L'elettrodiagnostica poi per la Medicina legale militare, nella quale il perito deve tenere limitato conto dei sintomi allegati dal malato e fondarsi precipuamente sui sintomi obbiettivi, è di assoluta necessità. Nelle neurosi traumatiche, che oggi dilagano, nei postumi di lesioni con simulate ed esagerate impotenze funzionali, è l'elettrodiagnostica quella che fornisce al Medico militare dati sicuri e preziosi per un giudizio esatto.

In tutti gli Ospedali Militari si trovano gli apparecchi necessari per gli esami e le cure elettriche, e sono già molti quelli che al presente hanno apparecchi fissi e completi, avendo potuto usufruire dell'energia elettrica degli impianti locali, mentre in tutti gli altri si è provveduto con apparecchi portatili.

L'ospedale Militare di Roma, che in principio aveva delle Spamer, dal 1904 possiede un impianto completo, che utilizza l'energia derivata dalla rete stradale e ridotta alla tensione di 45 volt, per applicazioni elettriche galvaniche, faradiche, galvano-faradiche, e correnti sinussoidali, per galvano-caustica, per endoscopia con tutti gli elettrodi generali e speciali ed accessori, nonchè per bagni idroelettrici parziali.

Impianti fissi dello stesso tipo si hanno presso l'Ispettorato di sanità militare, presso il gabinetto di medicina legale della Scuola d'applicazione di sanità militare, presso lo stabilimento balneo-termale di Acqui e presso i principali Ospedali militari (1); negli altri ospedali si usufruisce, per dette applicazioni, di apparecchi portatili funzionanti con pile di vario sistema (2). Delle stesse cassette sono dotati anche gli ospedali di Roma, Torino e Napoli per le eventuali cure di malati intrasportabili e per le sale di operazioni. In qualche altro ospedale, come in quello di Napoli, ha trovato utile impiego l'elettricità statica, specialmente per la sua azione sedativa e suggestiva, nonchè quella ad alta frequenza per l'influenza sulla tensione vasale degli arterio-sclerotici e sull'acceleramento del ricambio materiale.

Presso diverse cliniche militari (Roma, Firenze e Torino) si

(1) Torino, Alessandria, Milano, Verona, Padova, Bologna, Firenze, Livorno, Napoli, Bari, Catanzaro, infermeria presidiaria di Reggio Calabria.

(2) Novara, Savigliano, Brescia, Genova, Venezia, Udine, Ancona, Chieti, Perugia, Cagliari, Caserta, Cava dei Tirreni, Palermo, Messina.



utilizzano ancora gli effetti termici della corrente elettrica per i bagni di luce totali e parziali, i quali hanno dato ottimi risultati nei postumi di lesioni traumatiche, e si prestano bene come preparazione alle cure kinesiterapiche e come complemento alle azioni massoterapiche.

Presso l'ospedale militare di Firenze esiste un apparecchio per il massaggio vibratorio, messo in moto da motorino elettrico.

Presso il gabinetto chimico dell'Ispettorato di sanità militare è stato recentemente impiantato un apparecchio elettrico per la distruzione delle sostanze organiche e per la determinazione elettrolitica dei metalli.

Nella farmacia centrale militare di Torino l'elettricità è impiegata largamente per motori elettrici applicabili a diverse macchine (centrifughe, molini, pressatrici, tamburi, emulsionatrici, ecc.) per la preparazione e confezione dei medicinali.

La scoperta di Röntgen con i raggi X ha aperto tutto un nuovo orizzonte alle indagini diagnostiche, chirurgiche e mediche, ed il Corpo Sanitario Militare, compresa subito l' utilità e l'importanza della scoperta, si è adoperato perchè gli Ospedali fossero prontamente provvisti degli apparecchi necessari, nè ha mai tralasciato di seguirne i rapidi perfezionamenti.

L'Ospedale Militare di Roma può dirsi sia stato un precursore. Fin dal 1896 attivò un impianto radiografico, quando nessun altro stabilimento sanitario in Roma lo aveva. Era un piccolo rocchetto, e l'energia elettrica era fornita da una batteria di pile Bunsen, e nullameno si ottennero fin d' allora ottime radiografie. Nel 1899 fu fatto un impianto più grandioso, con un rocchetto di 80 cm. di scintilla, della casa Max Levy, attivato da una batteria di accumulatori, e a quel tempo i sanitari degli ospedali civili della Capitale si rivolgevano alla Direzione dell'Ospedale militare per usare di tale apparecchio, specialmente nei traumatismi del capo dovuti ad arma da fuoco. Finalmente nel 1908 si eseguì (ditta Balzarini di Milano) un nuovo e grande impianto, con rocchetto di 50 cm. ad interruttore a mercurio ed elettrolitico, che utilizza la corrente alternata stradale trasformata in continua a 45 volt, il quale impianto serve assai bene per radioscopie e radiografie di qualsiasi genere e per tutte le applicazioni elettriche, galvaniche, faradiche, galvano-faradiche, come pure per la galvano-caustica e per l'endoscopia.

Il laboratorio è completato da tutti i mezzi di difesa per evitare l'azione nociva dei raggi X e dagli apparecchi per la determinazione del grado di penetrazione dei raggi (scala di Walter, radiocronometro di Benoist).

Dello stesso tipo sono gli impianti dei gabinetti dell' Ispettorato di Sanità Militare e degli Ospedali di Alessandria, Milano, Napoli, Palermo, e sarà quello del nuovo grandioso Ospedale di Torino, in corso di costruzione.

L'attuale Ospedale di Torino e quelli di Genova, Verona, Bologna, Firenze e Livorno hanno impianto fisso della Casa Max Levy. Gli ospedali di Novara e di Piacenza hanno l' impianto portatile Wolthon.

Ma non in tutti i luoghi, sede di stabilimenti sanitari militari, vi è l'energia elettrica, nè alle volte è possibile trasportare l'infermo nella sala radiografica; e se si pensa poi alle applicazioni dei raggi X che indispensabilmente i medici militari dovranno fare in campagna, si comprenderà quanto felice sia stata l' innovazione suggerita dall'attuale Ispettore Capo di Sanità militare, Tenente Generale Ferrero di Cavallerleone, il quale ideò l'apparecchio portatile, che da lui trae il nome, e che è stato appunto proposto per le formazioni sanitarie di guerra (1).

Di questo apparecchio sono stati forniti tutti gli Ospedali Militari che sono sprovvisti di impianti fissi, ed anche gli Ospedali di Roma e di Torino, sebbene i medesimi abbiano anche impianti fissi; ciò consente di potere all'occorrenza inviare tale apparecchio anche nei presidî vicini.

È da ricordare infine che fu pure studiata l' applicazione di apparecchi elettrici per illuminazione del campo di battaglia per la ricerca dei feriti, e al riguardo sono state fatte delle pubblicazioni sul *Giornale di Medicina Militare* del R. Esercito (2).

---

(1) Detto apparecchio portatile consta di quattro casse ed è perfettamente someggiabile. Delle casse una contiene il motore accoppiato a dinamo; la seconda il rocchetto e l'interruttore a mercurio; la terza i tubi per la produzione dei raggi X, gli accessori, un elettromagnete per l'estrazione di scheggie metalliche, ecc.; la quarta finalmente una tenda oscura per l'impianto dell'apparecchio e per esami radioscopici.

(2) 1892 — MENDINI, *L'illuminazione del campo di battaglia.*
1897 — FERRERO DI CAVALLERLEONE, *Recherches des blessés sur le champ de bataille.*



V.

Notizie sull'ordinamento degli studi di elettrotecnica presso il R. Esercito e sul contributo che agli studi stessi diede il personale dell'Esercito.

Valgano le seguenti notizie a dimostrare quanta importanza venga data, presso il nostro Esercito, agli studi di elettrotecnica, quanta cura venga posta nell'insegnamento teorico e pratico di tale ramo di scienza in relazione alle applicazioni di carattere militare, e infine a dar saggio dei notevoli frutti ottenutisi dalla cultura tecnica di nostri valenti ufficiali.

Scuola d'applicazione d'Artiglieria e Genio. — Fin dal 1891 fu attuato in questa Scuola un corso speciale di applicazioni elettriche. Vi fu preposto per primo il Maggiore del Genio Finardi (oggi Tenente Generale nella riserva), e dopo di lui il Tenente Colonnello del Genio Pescetto, nome ben noto ai cultori dell'ingegneria industriale e dell'elettrotecnica (1).

Successivamente, allo stesso corso fu data sempre maggiore importanza, ampliandone i programmi e accrescendone le dotazioni del gabinetto sperimentale, sì che oggi il programma d'insegnamento, — dopo premessa una profonda trattazione di quanto ha tratto ai campi newtoniani, ai campi elettrocinetici, all'elettrodinamica, al magnetismo, all'elettromagnetismo, all'induzione, alle correnti alternate, al campo rotante, ecc. e dopo una buona preparazione relativa alle misure elettriche, — comprende quanto può avere applicazione nel campo tecnico-militare, trattando della produzione, trasformazione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, delle applicazioni dell'energia elettrica ai motori a corrente continua ed alternata (sincroni ed

---

(1) Furono insegnanti in questa Scuola:
Il Maggiore del genio Finardi dal 1891 al 1892. — Il Tenente Colonnello Pescetto dal 1893 al 1896. — Il Tenente del genio Nobili dal 1897 al 1900. — Il Tenente del genio Veroi dal 1901 al 1904. — Il Capitano d'artiglieria De Maria dal 1904 al 1909. — Il Capitanio del genio Vita-Finzi dal 1910 ad oggi.

asincroni), alla trazione, all'illuminazione, ai forni metallurgici, alla telegrafia, alla telefonia, alla radiotelegrafia, all'accensione elettrica delle mine, ai proiettori ed ai parchi fotoelettrici, ecc.

L'insegnamento teorico è completato da esercitazioni pratiche che si svolgono in un gabinetto dotato di un corredo di macchine elettriche (dinamo, alternatori, trasformatori, convertitori, apparecchi di misure scientifiche ed industriali), di un piccolo impianto di radiotelegrafia ed anche di un impianto di radioscopia (1).

I risultati di questo insegnamento furono e sono assai confortanti, come lo dimostrano il contributo di studi e di applicazioni dato dagli ufficiali e al quale innanzi ho avuto occasione di accennare, e le prove date da molti ufficiali delle armi di Artiglieria e del Genio nelle Scuole e negli Istituti di perfezionamento italiani ed esteri.

Corsi di perfezionamento. — Per facilitare agli ufficiali il mezzo di perfezionarsi negli studi di elettrotecnica presso Istituti esteri, il Ministero concesse sul principio (insino al 1899) ai medesimi ufficiali una licenza, senza perdita di stipendio, per la durata di un corso, e il rimborso delle spese d'iscrizione al corso stesso. — Più tardi, nella considerazione che i vari Istituti del Regno erano ormai tali da offrire il mezzo di perfezionarsi in simili studi senza necessità di andare all'estero, il Ministero, pur non facendo proibizione che talun ufficiale compisse a proprie spese il Corso di Elettrotecnica presso Istituti esteri, determinò di fare facilitazioni solo a coloro che desideravano di frequentare corsi in uno degli Istituti del Regno. — Stabilì pertanto il Ministero che annualmente venisse concesso agli Ufficiali d'Artiglieria e del Genio (sei in complesso tra le due armi, da scegliersi tra gli aspiranti aventi maggiori titoli) di frequentare i corsi di perfezionamento, con l'obbligo di sostenere alla fine del corso il relativo esame finale.

Il numero degli ufficiali aspiranti fu sempre superiore ai posti disponibili, ed i risultati che se ne ottennero furono veramente lusinghieri. — La Scuola Galileo Ferraris presso il Museo

(1) Vedasi la pubblicazione nel Capitano Ing. A. De Maria, avente per titolo: *Sala del macchinario elettrico e gabinetto di radioscopia,* " Scuola di Applicazione d'Artiglieria e Genio ".



Industriale di Torino (oggi Politecnico) raccolse sempre il massimo numero di concorrenti. — Pur troppo, non tutti gli Ufficiali che compirono tali studi di perfezionamento sono ora nelle file dell'Esercito. Non pochi — e tra i migliori — ci furono sottratti da ricche Case industriali e da pubbliche Amministrazioni italiane ed estere (1).

Scuola d'Applicazione di Sanità Militare e Corsi di perfezionamento. — In questa Scuola gli ufficiali medici di complemento vengono addestrati, mediante esercitazioni e dimostrazioni pratiche, anche nella tecnica dell'uso degli apparecchi radiografici, nella valutazione elettrica delle lastre radiografiche, nell' apprezzamento delle lesioni degli organi nelle radioscopie.

La Scuola è dotata di:

a) un impianto per radioscopia e radiografia, arricchito di numerosi accessori (radiometro, criptoscopio, schemi fluorescenti, megatoscopio, ecc.), in guisa da rispondere a tutte le esigenze della tecnica odierna. La Scuola possiede una ricchissima collezione di radiografie di traumatismi ossei per armi da fuoco militari e per altre cause accidentali, e parte di queste radiografie figurarono all'Esposizione di Torino del 1898, ove furono premiate con medaglia d'argento;

b) di un apparecchio per diagnosi e cura elettrica, a cui è annessa una ricca dotazione di eccitatori (a bottone, a placca, a pennello, a spazzola, ecc.), un fotofero frontale, un apparecchio a mano per illuminazione della bocca, gola, ecc. Dal lato didattico questo apparecchio viene adoperato specialmente nella diagnosi e nella valutazione prognostica e medico-legale delle nevralgie, delle paralisi e delle atrofie; dal lato terapeutico è

---

(1) Questo esodo di Ufficiali tecnici dalle file dell'Esercito torna certamente ad onore del buon nome dei nostri Ufficiali, ma potrebbe dar motivo a taluno di pensare anche, sia pure a torto, che presso l'Esercito non sia sufficientemente apprezzata e rimunerata la coltura tecnica, dal momento che i migliori Ufficiali non trovano in esso attrattive morali e materiali sufficienti per resistere a lusinghe estranee. Nè sarebbe fuori di luogo, per lo scopo che si propone la presente Memoria, di accennare alla posizione — molto elevata per taluni — che seppero raggiungere gli Ufficiali che, per necessità di cose, privarono l'Esercito della preziosa opera loro. — È lavoro che potrà essere utilmente fatto più tardi, quando si abbia maggior tempo a disposizione per le necessarie ricerche.



particolarmente utilizzato nella applicazione della corrente galvanica e faradica alla cura delle anzidette affezioni (1).

Per l'istruzione degli ufficiali medici che non ebbero l'opportunità di usufruire d'insegnamenti speciali presso le Università o presso le cliniche, fin dal 1905 furono iniziati corsi speciali teorico-pratici di elettricità (2), e nel 1906 alcuni ufficiali medici hanno seguìto, presso la R. Università di Roma, un corso di perfezionamento, nel quale fu largamente svolta l'elettroterapia, l'elettrodiagnostica e la radiologia. Gli stessi ufficiali (sei) hanno tutti superato gli esami con brillantissimi risultati, ottenendo il diploma di abilitazione nella pratica della terapia fisica.

Come vedesi, Ministero e Ispettorato di sanità militare provvedono nel miglior modo a che gli ufficiali medici si mantengano all'altezza dei progressi della scienza; e sebbene i medesimi ufficiali non abbiano ancora portato grande contributo d'invenzioni e di perfezionamenti nell'applicazione dell'elettricità alla Medicina, la loro attività scientifica emerse egualmente nell'elettrologia e radiologia con osservazioni cliniche, con statistiche, con recensioni, di cui si hanno buoni saggi nel " Giornale di Medicina militare del R. Esercito „ (3).

Istituto radiotelegrafico militare. — Questa istituzione data da due anni soltanto e si prefigge due scopi principali: coor-

---

(1) L'insegnamento di questa branca di scienza fu, presso la Scuola di Sanità militare, affidato: per la radioscopia e radiografia al Ten. Colonnello medico Lorenzo BUONOMO e al Capitano medico Giuseppe VALERIO; per l'elettrodiagnostica ed elettroterapia al Tenente Colonnello medico Edmondo TROMBETTA.

(2) L'insegnamento per tali corsi fu inizialmente affidato al Capitano d'artiglieria Ing. A. DE MARIA.

(3) 1896. — ALOERO, *I vantaggi pratici delle scoperte di Röntgen.*

1896. — FERRERO DI CAVALLERLEONE, *Le scoperte di Röntgen in rapporto alla Medicina ed alla Chirurgia.*

1897. — BUONOMO, *Ricerche sperimentali sull'azione dei raggi Röntgen sui microorganismi.*

1897. — GRASSI, *Applicazione dei raggi X nel gabinetto dell'Ospedale militare di Roma.*

1902. — PERASSI, *La radiografia nelle ferite del capo.*

1906. — MANCINI, *Azione dei raggi Röntgen nelle culture di Achorion Schönlein.*

dinare i servizi radiotelegrafici e radiotelefonici dell'esercito e della marina, nell'interesse supremo della difesa nazionale; formare la necessaria coltura tecnica negli ufficiali di terra e di mare proposti alla direzione ed all'esercizio delle stazioni radiotelegrafiche.

La necessità di una siffatta istituzione era da tempo sentita. È noto, infatti, come la radiotelegrafia, malgrado i suoi meravigliosi progressi, presenti molte e gravi difficoltà, e molti e gravi siano i problemi che rimangono tuttora insoluti.

Il contributo che alla soluzione di tali problemi portano le potenti Compagnie, le quali, all'estero specialmente, si occupano dell'arduo problema, è senza dubbio assai importante; ma è da notare che tale contributo, diretto ad intenti precipuamente commerciali, ha, per ragioni facili ad intendersi, carattere subbiettivo e di personale interesse, anzichè essere obbiettivo e disinteressato. Si comprende quindi facilmente di quale importanza sia l'avvenuta istituzione di un laboratorio di Stato, con annessa scuola di ricerche sperimentali, dove, al di fuori e al di sopra di ogni preoccupazione estranea, riesca possibile lo studio sereno ed obbiettivo delle questioni attinenti alla radiotelegrafia.

L'Istituto, che ha carattere essenzialmente militare, dipende dai Ministeri della guerra e della marina; ma la Direzione superiore del medesimo è affidata alla R. Marina. L'Istituto ha sede presso il Battaglione Specialisti del Genio in Roma, dove si trova pure la Direzione dei servizi radiotelegrafici dell'Esercito, e dove funzionano tre stazioni radiotelegrafiche (una stazione della R. Marina a M. Mario, una, sperimentale, dell'Esercito nella Caserma Cavour, e la terza, pure dell'Esercito, a Vigna di Valle). Ciò consente di dare all'insegnamento carattere sopratutto pratico, in attesa che la radiotelegrafia, oggi giovane d'anni, assurga a scienza formale e consenta, con reale utilità, un insegnamento essenzialmente teorico.

All'Istituto è annesso un gabinetto sperimentale, il quale dispone di una dotazione annua di L. 50 mila, somma egualmente ripartita tra i Ministeri della guerra e della marina ed amministrata da un Consiglio direttivo.

È stabilito inoltre che lo stesso gabinetto sperimentale debba poter fornire agli inventori, *anche se estranei alle amministrazioni militari*, la possibilità di compiere esperienze relative alle loro invenzioni, purchè queste siano, dalla Commissione radiotele-

grafica permanente dello Stato, riconosciute degne di essere prese in considerazione.

La direzione dell'Istituto è affidata ad un ufficiale superiore della R. Marina. Il personale insegnante comprende: un professore titolare civile che è incaricato dell'insegnamento teorico della radiotelegrafia generale ed è direttore del gabinetto sperimentale; un ufficiale dell'esercito, aggiunto del professore titolare ed incaricato specialmente delle misure elettriche attinenti alla radiotelegrafia; due ufficiali, uno dell'esercito e uno della marina, incaricati, rispettivamente, delle istruzioni relative al montaggio e all'esercizio delle stazioni radiotelegrafiche di terra e di mare.

L'insegnamento, sia teorico che pratico, ha la durata di un anno scolastico. I corsi vennero iniziati, in via provvisoria ed a titolo di esperimento, nel 1909 e furono frequentati, oltre che da ufficiali dell'esercito e della marina, da civili funzionari di pubbliche amministrazioni. Gli ottimi risultati ottenuti indussero i due Ministeri della guerra e della marina a dare sanzione legale all'Istituto, la importanza della quale non può a nessuno sfuggire, perocchè per tale sanzione il nostro paese, non solo viene a porsi a livello delle altre nazioni per quanto riguarda la radiotelegrafia, ma viene ad acquistare un nuovo importantissimo centro di studi e di coltura tecnica.

La direzione dell'Istituto è oggi affidata al Capitano di fregata Vittorio Pullino, capo del servizio radiotelegrafico presso il Ministero della marina.

La direzione del gabinetto sperimentale dell'Istituto è affidata al Professore G. Vanni, libero docente presso la Regia Scuola degli Ingegneri di Roma, nome ben noto a quanti si interessano delle discipline elettrotecniche. Gli altri insegnanti sono: il capitano del genio Cesare Bardeloni, il tenente di vascello Gaetano Ponza di S. Martino e il tenente del genio Luigi Sacco.

Scuole reggimentali di telegrafia e telefonia. — Presso il 3° Reggimento Genio (Telegrafisti) in Firenze e presso i suoi distaccamenti esistono scuole teoriche e pratiche di telegrafia per l'istruzione tecnica dei telegrafisti militari.

Nelle scuole teoriche vengono date le principali nozioni scientifiche sull'elettricità, sul magnetismo, sull'elettromagnetismo e sull'induzione, con lo speciale intento di spiegare il funziona-

mento degli apparecchi telegrafici e telefonici, e perchè il telegrafista sia in grado di regolare gli apparecchi stessi e di eseguire quelle riparazioni o ripieghi d'urgenza, che non richiedano speciali lavorazioni.

Nelle scuole pratiche i telegrafisti vengono addestrati essenzialmente nell'uso dell'apparato MORSE, ed alcuni anche nell'impiego degli apparati HUGUES e BAUDOT.

Gli apparati MORSE della Scuola vengono aggruppati in tutti i modi possibili, ciò che può attuarsi mediante uno speciale commutatore intercalato nei circuiti degli apparati MORSE, alimentati alla sede del Reggimento da una batteria d'accumulatori e nei distaccamenti da batteria di pile italiane.

Molti telegrafisti del 3° Reggimento Genio vengono destinati agli uffici dello Stato per compiervi un corso di perfezionamento di alcuni mesi.

Anche presso il 6° Reggimento Genio (Ferrovieri), pel servizio telegrafico come sussidiario di quello ferroviario, esiste una scuola telegrafica organizzata press'a poco con gli stessi criteri.

I risultati ottenuti nelle nostre scuole telegrafiche furono sempre più che soddisfacenti, e se ne hanno continue prove nelle gare annuali reggimentali e di distaccamento, dove non sono pochi i militari che riescono a trasmettere con celerità e precisione veramente ammirevoli (1).

Si soggiunge che durante manovre, campi, esercitazioni, ed anche nell'esercizio di linee militari permanenti, il servizio telegrafico funzionò quasi sempre in modo inappuntabile, e la Direzione Superiore delle grandi manovre ebbe sempre parole di elogio per tale servizio, come pure, in generale, per gli altri servizi affidati all'arma del Genio.

Presso il 3° Reggimento Genio telegrafisti e presso i suoi distaccamenti convengono anche ufficiali ed uomini di truppa

---

(1) Nel concorso professionale internazionale di telegrafia pratica, che, per iniziativa del Ministero delle Poste e dei Telegrafi dello Stato, ebbe luogo testè in Torino, il caporale maggiore Virginio SCHINETTI del 3° Reggimento Genio, risultò *primo* ed ottenne il gran premio d'onore nella gara con apparecchio *Morse*. Nella stessa gara, su 40 premiati, i telegrafisti TRONCI e MALASOMA, dello stesso Reggimento, risultarono 5° e 6°, guadagnandosi la medaglia d'oro.



di altre armi, particolarmente dei bersaglieri, della cavalleria e dell'artiglieria, per compiervi corsi pratici di telefonia e di telegrafia, che hanno il loro seguito di istruzioni e di esercitazioni nei reggimenti della rispettiva arma, dove il personale che venne istruito presso il 3° Reggimento Genio diviene a sua volta istruttore di altro personale nei reggimenti stessi.

Per tal modo si hanno in cavalleria e nei bersaglieri ciclisti dei nuclei capaci di telegrafare, e le altre armi sono messe in grado di esercire linee telefoniche campali, mentre l'artiglieria da fortezza e da costa fa funzionare con personale proprio anche le linee telefoniche permanenti che sono in servizio dell'artiglieria nelle opere di fortificazione.

Dati diversi sugli impianti elettrici negli stabilimenti e nei fabbricati militari.

LUOGO E STABILIMENTO	Natura dell'energia motrice e mezzi di produzione	Potenza media complessiva	Apparecchi d'utilizzazione	ANNOTAZIONI
1	2	3	4	5
TORINO. Officina di costruzione d'artiglieria.	termica (3 motrici a vapore connesse a dinamo).	110 HP	74 motori elettrici a corrente continua di potenza compresa fra 1 e 30 HP. 60 lampade a filamento metallico. 1400 a filamento di carbone. 10 lampade ad arco.	
Id. Id. Id.	elettrica, fornita da Società locale.	200 HP	Forno elettrico Stassano.	La corrente trifase fornita dalla Società concessionaria viene portata da 3000 V ad 80 V in apposita stazione di trasformazione.
Id. Ex-Fabbrica d'armi di Valdocco.	idraulica (2 turbine accoppiate ad alternatori).	96 HP	6 motori a corrente trifase della potenza di 16 HP. Illuminazione.	
Id. Arsenale di costruz. d'artiglieria.	termica ed idraulica (motrice a vapore e tre turbine connesse a dinamo).	180 HP	49 motori a corrente continua eccitati in derivazione.	La riserva termica dello stabilimento verrà in seguito, secondo proposta in corso, sostituita da energia elettrica (150 HP) fornita, sotto forma di corrente trifase, da locale Società.
		32 HP	21 lampade ad arco, lampade ad incandescenza con filamento di carbone e con filamento metall.	
Id. Laboratorio del 5° Reggim. Genio.	elettrica, fornita da Società locale.	2 HP	Un motore trifase a 120 V.	
Id. Farmacia centrale Militare.	Id.	25 HP		
Id. Opificio Arredi Militari.	Id.	70 HP	Motori asincroni a campo rotante, per le varie lavorazioni e preparazioni. Illuminazione.	
Id. Gallettificio.	Id.	60 HP		

Id. Mulino e Panificio Militare.	Id.	80 HP	Id. Id. Id. Illuminazione.	
ALESSANDRIA. Laboratorio annesso alla Direzione d'artiglieria.	Id.	19 HP	3 motori elettrici per mettere in moto le macchine operatrici.	L'illuminazione si ottiene, mediante l'energia fornita dalla Società concessionaria, con lampade ad incandescenza a filamento di carbone.
Id. Sussist. militari.	Id.	5 HP	1 motore a corrente continua.	
Id. Mulino e Gallettificio.	Id.	41 HP	3 motori a corrente continua. Illuminazione.	
Pavia. Officina del Genio Militare.	termica (fa parte dell'energia prodotta da due motrici a vapore azionanti due dinamo).	30 HP	34 motori elettrici a corrente continua di potenza variabile fra $^1/_{10}$ e $^2/_5$ HP.	Delle due dinamo una ha la potenza di 30 HP e l'altra, di riserva, ha la potenza di 14 HP.
			Una batteria di 44 elementi di accumulatori Tudor. 8 lampade ad arco. 137 ad incandescenza con filamenti di carbone. 15 ad incandescenza con filamento metallico.	
			Un bagno elettrolitico per nichellatura.	Per alimentare il bagno elettrolitico l'energia elettrica, mediante apposito trasformatore rotativo, viene ridotta da 120 V a 5 V.
MILANO. Panificio Militare.	elettrica, fornita da Società loc. sotto forma di corrente trifase.	61 HP	3 motori a campo rotante per azionare il macchinario del mulino.	In apposita stazione di trasformazione il voltaggio viene ridotto da 3600 V a 160 V prima di introdurre l'energia nei motori.
BRESCIA. Fabbr. d'armi.	elettrica, fornita dai servizi municipalizzati.	48 HP	6 motori di potenza compresa fra 3 e 20 HP. Avvi un impianto di illuminazione analogo a quello degli altri fabbricati civili e militari della città, alimentato con energia prodotta dai servizi municipalizzati.	La tensione viene ridotta in apposita stazione di trasformazione.

LUOGO E STABILIMENTO 1	Natura dell'energia motrice e mezzi di produzione 2	Potenza media complessiva 3	Apparecchi d'utilizzazione 4	*ANNOTAZIONI* 5
BRESCIA. Panificio Militare.	elettrica, fornita da Società locale.	5 HP	2 motori trifasi. Illuminazione.	
Val Trompia. Officina in Gardone.	idraulica (1 turbina connessa ad una dinamo a corrente continua).	37 HP	26 lampade ad arco. 230 lampade ad incandescenza con filamento di carbone.	Le macchine operatrici sono messe in moto utilizzando l'energia idraulica raccolta da turbine mediante trasmissione meccanica.
GENOVA. Officina di costruzione d'artiglieria.	termica (motrici a vapore e motori Diesel per azionare 4 dinamo a corr. continua).	431 HP	56 motori, di cui i più potenti sono direttamente accoppiati alle relative macchine operatrici. Una batteria di accumulatori. 32 lampade ad arco Yandus a vaso chiuso. 700 lampade ad incandescenza a filamento metallico ed a filamento di carbone.	Àvvi un gabinetto per osservazioni metallografiche e un altro per studi ed esperienze varie, alimentato dall'energia fornita da una Società locale.
Cornigliano. Panificio Militare.	termica (una motrice a vapore, che verrà sostituita da motore Diesel connesso a dinamo).	150 HP	2 motori destinati a mettere in moto tutto il macchinario.	
PIACENZA. Officina di costruzione d'artiglieria.	termica, relativa ad una motrice a vapore connessa ad alternat. trifase; elettrica, fornita da una Società locale.	30 KW (potenza dell'alternatore).	Motori della potenza di 17, 12, 6, 2, 1/2 HP, asincroni trifasi. Illuminazione con lampade ad incandescenza.	Questo impianto elettrico di recente costruzione fu eseguito sotto la direzione del tenente d'artiglieria Chiesa Luigi. Sono in corso di studio proposte per l'ampliamento di tale impianto. L'energia viene trasformata riducendone le tensioni iniziali di 230 V e 220 V alle tensioni richieste dagli apparecchi di utilizzazione.

Id. Laboratorio del 4° Reggim. Genio.	termica (motore a gas connesso a dinamo).	4 HP	Motori del laboratorio ed apparecchi d'illuminazione del laboratorio.	
VERONA. Laboratorio annesso alla Direz. d'artiglieria.	elettrica, fornita sotto forma di corrente trifase da Società concessionaria.	19 HP	3 motori a campo rotante.	Esiste un impianto d'illuminazione con lampade ad incandescenza, parte a filamento metallico e parte a filamento di carbone, come negli altri fabbricati del Presidio.
Mantova. Direzione d'artiglieria ed Arsenale di S. Francesco.	elettrica, fornita da Società concessionaria.	—	100 lampade per illuminazione dei laboratori e della Direzione.	
BOLOGNA. Laboratorio pirotecnico d'artiglieria.	termica (motrice a vapore e 2 motori Diesel azionanti dinamo a corrente continua). elettrica, prodotta da una batteria di pile Bunsen.	350 HP (circa)	12 motori a corrente continua. 40 lampade ad arco. 400 ad incandescenza a filamento di carbone e a filamento metallico. Aspiratori elettrici. Accumulatori elettrici tipo Tudor. Cronografo elettro-balistico *Le Boulanger*. 6 pirometri *Le Chatelier*.	
Id. Stabilimento di Casaralta.	termica (motrice a vapore connessa a 4 dinamo a corrente continua, più una dinamo di riserva).	40 HP	2 motori a corrente continua. 355 lampade ad incandescenza.	
Venezia. Panificio di San Biagio.	elettrica, fornita da Società locale.	6 HP	Un motore della potenza di 6 HP. Lampade ad incandescenza a filamento metallico (tensione 50 V) (N. 70 lampade).	Il motore è destinato ad azionare le impastatrici.
Mestre. Parco aereostatico.	Id.	20 HP	2 motori elettrici. Illuminazione elettrica con 100 lampade a filamento metallico.	Oltre due motori della potenza di 10 HP ciascuno, per le manovre delle porte dell'*hangar*, esistono piccoli motori negli annessi laboratori.

LUOGO E STABILIMENTO 1	Natura dell'energia elettrica e mezzi di produzione 2	Potenza media complessiva 3	Apparecchi d'utilizzazione 4	*ANNOTAZIONI* 5
FIRENZE. Laboratorio e Scuola telegrafica del 3° Reggim. Genio.	termica (un motore a gas povero azionante una dinamo).	14 HP	5 motori di potenza compresa fra $^1/_6$ e 2 HP.	La dinamo indicata nella colonna 2 carica anche una batteria di accumulatori pel funzionamento di 220 macchine Morse e per azionare eventualmente 10 motorini della potenza di $^1/_{10}$ HP annessi agli apparecchi celeri Baudot esistenti nella Scuola di telegrafia pratica.
Id. Id. id.	elettrica, fornita da Società concessionaria.		Due motori, uno della potenza di $^3/_4$ e l'altro di 2 HP.	
Id. Istituto geogr. Milit.	Id. id.	—	Applicazioni varie.	Vedasi testo pag. 762.
Spezia. Direzione d'artiglieria.	elettrica, fornita da Società loc. sotto forma di corrente trifase.	22 HP	4 motori a corrente alternata trifase.	Per la riduzione della tensione àvvi apposita cabina di trasformazione.
Id. Panificio Militare.	elettrica, fornita dal R. Arsenale (corrente alternata).		Un motore. Lampade ad incandescenza a filamento di carbone ed a filamento metallico.	
ROMA. Direzione d'artiglieria, Laboratorio di precisione e Caserma Ferdinando di Savoia,	termica (un motore Diesel connesso ad un alternatore) ed energia elettr. fornita da Società locale sotto forma di corr. trifase.	80 HP	Motori elettrici a campo rotante. 800 lampade ad incandescenza. 8 lampade ad arco. 60 accumulatori Tudor. Un impianto di galvanostegia alimentato per mezzo di trasformatore rotativo.	
Id. Laboratori ed Offic. del Battagl. Specialisti (Caserma Cavour).	elettrica, fornita da Società locale.	161 HP	36 motori elettrici, di potenza compresa fra 0,04 e 6,7 HP, per azionare le macchine operatrici dei laboratori, compreso quello della sezione radiotelegrafica, e trasformatori rotativi per l'elettrolisi dell'acqua.	V. pag. 766 del testo.

			Tre impianti di accumulatori per applicazioni varie; Due motori elettrici ed un impianto di accumulatori per l'Istituto radiotelegrafico; Due prese di correnti dalle linee urbane per esperienze nel detto Istituto. Impianto di illuminazione.	
Id. Panificio Militare.	elettrica, fornita da Società locale.	115 HP	7 motori elettrici di potenza compresa fra 2 1/2 e 67 HP. Illuminaziono elettrica.	
Terni. Fabbrica d'armi (in via d'ampliam. e trasformazione).	idraulica (tre turbo-alternatori).	1000 HP	Motori elettrici. Forno elettrico ad induzione. Applicazioni elettrolitiche, ecc.	Si è indicato nel testo (pag. 756) quanto si riferisce al nuovo impianto.
Fontana Liri.	idraulica (5 turbine accopp. ad elettrogeneratori).	1200 HP	Motori per azionare apparecchi vari. Esiste anche un impianto d'illuminazione.	È in progetto, come fu accennato nel testo, l'ampliamento e la trasformazione di quello stabilimento.
NAPOLI. Arsenale d'artiglieria.	—	—	—	In corso di trasformazione.
Capua. Laboratorio pirotecnico.	termica (motrici a vapore connesse a dinamo a corrente continua). elettrica (batteria di pile italiane).	45 HP	5 motorini elettrici. Un forno elettrico ad arco. 30 lampade ad arco. 600 lampade a filamento di carbone. 400 lampade a filamento metallico. Orologi elettrici e cronografi.	

ALLEGATO *B.*

Indice di pubblicazioni fatte da ufficiali dell'Esercito su questioni d'elettricità.

Le pubblicazioni non contrassegnate con asterisco (*) sono state fatte sulla *Rivista d'Artiglieria e Genio.*

Memorie e Note.

MARANTONIO E PESCETTO (Capitani del Genio). — I recenti progressi dell'elettrotecnica e le loro applicazioni militari, anno 1884.

PESCETTO (Cap. del Genio). — Relazione sull'Esposizione Internazionale di Elettricità di Torino, anno 1886.

PESCETTO (Magg. del Genio). — Nota sull'impianto dei parafulmini, anno 1892.

ID. (id.). — Recenti esperienze eseguite all'estero con proiettori di luce elettrica a scopi militari, anno 1892.

ID. (id.). — Sui parafulmini, anno 1893.

ID. (id.). — Applicazione dell'elettricità alla sicurezza ed all'esercizio delle strade ferrate, anno 1894.

PASETTI (Cap. del Genio). — Fotocronografo Crehore e Squier, fondato sull'impiego della polarizzazione rotatoria magnetica, anno 1896.

SAIJA MOLETI (Cap. del Genio). — Studio sulla telefonia, anno 1896.

PASETTI (Cap. del Genio). — La telegrafia elettrica senza fili, anno 1897.

DELLA RICCIA (Ten. del Genio). — Gli apparecchi del Marconi e le esperienze alla Spezia, anno 1897.

PESCETTO (Ten. Col. del Genio). — Circa il motore asincrono monofase del Brown, anno 1897.

MARZOCCHI (Colonn. del Genio). — I parafulmini e le nuove norme provvisorie per istabilirli sugli edifizi militari, anno 1897.

DELLA RICCIA (Ten. del Genio). — Modificazioni agli apparecchi del Marconi, anno 1898.

(*) Ing. DELLA RICCIA (Cap. del Genio). — " Étude de la machine à courant continu excitée en dérivation ", anno 1898.

ID. (id.). — Studio sui parafulmini, anno 1899.

BUFFA (Ten. del Genio). — Trasformazione della corrente alternata in continua, anno 1900.

Biliotti (Cap. d'Art.). — I motori elettrici e le loro applicazioni militari, anno 1901.

Cantono. — Apparati Cantono per stazioni telegrafiche elettriche, anno 1902.

Giampietro (Cap. d'Art.). — Apparato ricevitore per telegrafia senza fili, anno 1903.

Veroi (Tenente del Genio). — Su alcuni sistemi di radiotelegrafia sintonica, anno 1903.

Id. (id.). — Autotrasformatori, anno 1903.

Caldarera (Ten. d'Art.). — Generatrici asincrone, anno 1903.

Id. (id.). — Alternatori in parallelo montati asse ad asse a motori aventi coppia motrice periodicamente variabile, anno 1904.

(*) Ing. Dino Nobili (Cap. del Genio). — Ricerche ed esperienze sui trasformatori di misura, anno 1904 (A. E. I.).

Vita-Finzi (Capitano del Genio). — La radioattività e la scienza moderna, anno 1905.

Veroi (Ten. del Genio). — Calcolo del flusso d'induzione magnetica attraverso un solenoide qualunque, anno 1905.

Ing. Girardi Giuseppe (Ten. del Genio). — Trasmettitori elettro-magnetici impiegati nella telegrafia ordinaria, anno 1905 (*L'elettricista*).

Anzalone (Maggiore del Genio). — Apparato micro-telefonico da campo, anno 1906.

Stassano (Maggiore). — Lo stato presente e l'avvenire della metallurgia termoelettrica in genere e della siderurgia termoelettrica in ispecie. anno 1906.

(*) Anzalone (Cap. del Genio). — Apparato telegrafico scrivente del tipo Morse a correnti alternate, anno 1906.

(*) Ing. De-Maria (Cap. d'Artiglieria). — Sala del macchinario elettrico e gabinetto per radioscopia della Scuola d'Applicazione d'Artiglieria e Genio, anno 1906.

Ing. Veroi (Ten. del Genio). — Fulminazioni per terre, anno 1907.

Caldarera (Cap. d'Artiglieria). — Motori e collettori a corrente alternata, anno 1907.

Aliquò-Mazzei (Cap. del Genio). — Impianto d'illuminazione elettrica nella caserma Vittorio Emanuele II in Firenze, anno 1908.

Ing. Bardeloni (Tenente del Genio). — Radiotelegrafia sistema Poulsen, anno 1908.

Stassano Ernesto (Magg.). — La verità sui forni elettrici, anno 1908.

Verduzio Rodolfo (Ten. del Genio). — I proiettori, anno 1908.

Stassano Ernesto (Magg.). — Sulla metallurgia termoelettrica del ferro, anno 1908.

Pugnani Angelo (Cap. del Genio). — Trazione elettrica ferroviaria, sue applicazioni in Italia, raffronto con quella a vapore e influenza sui grandi trasporti militari. Serie di conferenze tenute agli Ufficiali della Brigata Ferrovieri, anno 1908.



ANZALONE G. (Capitano del Genio). — Apparato micro-telefonico da campo, anno 1908.

CHIESA L. (Ten. d'Art.). — La sterilizzazione dell'acqua mediante l'ozono, anno 1910.

BARDELONI (Ten. del Genio). — Influenze elettromagnetiche della cometa di *Halley*, anno 1910.

R. RAIMONDI (Ten. del Genio). — Procedimento analitico per determinare la capacità di alcuni tipi di condensatori, anno 1910.

Trattati e Opere didattiche.

F. FINARDI (Magg. del Genio). — Applicazioni scientifiche (Scuola d'Artiglieria e Genio), 1890.

ID. (id.). — Misure elettriche, 1891.

ID. (id.). — Raccolta di dati di elettrotecnica ad uso degli ufficiali allievi, anno 1891.

Ing. F. PESCETTO (Ten. Col. del Genio). -- Applicazioni elettriche (Scuola di Applicazione di Artiglieria e Genio), 1893-94.

DINO NOBILI (Cap. del Genio). — Applicazioni elettriche (id., id.), 1898.

Ing. G. VEROI (Ten. del Genio). — Corso di elettricità (id., id.).

Ing. DE-MARIA (Cap. d'Art.). – Nozioni di elettrotecnica, Torino, 1908.

Ing. G. VEROI (Ten. del Genio). — Elementi di elettrotecnica, Torino, 1909.

RÉSUMÉ

Le présent Mémoire a pour objet de faire connaître ce que l'Administration de la Guerre, en Italie, a fait jusqu'à ce jour en ce qui concerne les applications de l'électricité, et quelle contribution d'études, d'inventions, de perfectionnements le personnel de l'Armée Italienne a apportée à cette branche si considérable de la technique moderne.

Les diverses applications militaires de l'électricité y sont passées en revue et celles qui offrent le plus de détails intéressants pour le technicien y sont minutieusement décrites.

On s'y occupe en premier lieu des applications de l'électricité dans les établissements et dans les chantiers de constructions militaires, et l'auteur s'applique à mettre en relief les principes qui ont dirigé ces applications. Il décrit à ce point de vue les installations électriques de la Fabrique d'Armes de Terni, de la Poudrerie de Fontana Liri, des usines de construction d'Artillerie de Turin, etc.

Il passe ensuite à la description des applications dans les services techniques des troupes en campagne, c'est-à-dire dans la télégraphie, la téléphonie, la radiotélégraphie; à l'explosion électrique des mines, aux projecteurs électriques. Il décrit encore d'autres applications de l'électricité, telles, par exemple, que les fours électriques de campagne, les appareils à produire l'hydrogène pour gonfler les ballons aérostatiques, les systèmes de photoincision employés dans la reproduction des cartes et des plans, les paratonnerres, les appareils de commande à distance dont se sert l'artillerie, etc.

Enfin, après quelques détails sur l'emploi de l'électricité dans le diagnostique et dans les traitements médicaux et chirurgicaux, l'auteur termine son Mémoire avec des détails intéressants sur l'organisation des études électrotechniques dans l'Armée Royale et sur la contribution du personnel de l'Armée à cette catégorie d'études.

Des tableaux où sont réunies des données nombreuses sur les installations électriques dans les constructions et les établissements militaires, ainsi qu'un index des publications électriques émanant des officiers de l'Armée Italienne complètent heureusement ce Mémoire.



Sezione VIII

TARIFICAZIONE - TASSAZIONE E LEGISLAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Presidente	A. Arnò	(Italia)
Vice Presidenti	G. Dettmar	(Germania)
	M. Bonghi	(Italia)
Segretari	U. Botto	(Italia)
	G. Giulietti	(Italia)

IL RIEMPIMENTO DEI DIAGRAMMI DI CARICO

Rapporto sul Tema N. 21 del Congresso.

Relatore G. SARTORI (Trieste)

Richiesta saltuaria della energia elettrica. — In ogni campo dell'umana attività, nelle industrie, nei commerci, nei mille svariati bisogni degli individui, nelle infinite esigenze che il progresso ha creato, noi ritroviamo una tale disuniformità nella tempestiva distribuzione delle funzioni, che gli enti chiamati a soddisfarle risentono tutti più o meno un grande disagio. Poche cose invero possono essere uniformemente prodotte e — debitamente ammassate — distribuite poi in epoca od in ora stabilita. Lo stesso bisogno, insito all'uomo, di alternare l'attività col riposo, rende impossibile per qualsiasi oggetto una distribuzione uniforme e costante.

Tutto deve così adattarsi alle esigenze ed alle imprescindibili necessità della vita. E non sfugge a questa legge anche l'energia elettrica che, richiesta saltuariamente — salvo rare eccezioni — nelle ore della giornata o nelle varie epoche dell'anno, obbliga il produttore ad investizioni cospicue di danaro per fronteggiare quelle esigenze, laddove con sacrifici pecuniari immensamente minori potrebbe fornire la stessa somma di lavoro se questo fosse equamente ripartito e nella misura e nel tempo.

Estensione del campo di attività delle centrali elettriche. — Ancora al sorgere delle applicazioni della energia elettrica alla illuminazione, il problema di rendere quanto meno stridente fosse possibile la inevitabile discrepanza nelle richieste, si impose all'attenzione del tecnico, anche se il problema è di carattere puramente economico. Fu così che gradatamente le

centrali elettriche sorte nell' ultimo ventennio, cercarono — e con successo completo, dobbiamo subito constatarlo — di estendere sempre più il campo della loro attività, non limitandosi ad un unico e determinato servizio come un tempo, ma assumendone quanti più poterono, diventando talvolta colossali per potenzialità disponibile, ma raggiungendo in tale guisa una utilizzazione sempre più intensiva del materiale d'impianto ed abbassando contemporaneamente il costo dell'unità di lavoro, il kilowattora.

Dall'ideale, dal perfetto, da quella utilizzazione completa di ogni parte di un impianto elettrico, vaticinata pure da tanti uomini d'ingegno e di valore indiscusso, noi siamo ancora molto lontani; ma, ad ogni giorno che passa, il progresso s'accumula al progresso, e nella inesauribile fecondità dell'ingegno umano troverà certo l'industria elettrica di che salire a più alti fastigi anche nel campo economico, congiunto a quello tecnico siffattamente da render difficile lo stabilire a quale dei due più si debba l'odierno stato della elettrotecnica.

Importanza del problema. — Un così importante, anzi vitale problema, non poteva certo venire trascurato all'attuale Congresso Internazionale delle Applicazioni dell'energia elettrica; che, se un appunto può farsi in questo riguardo al Comitato Ordinatore, è solo quello di non aver saputo trovare per la ponderosità di siffatto argomento un uomo di più vasta dottrina della mia e di competenza adeguata.

Inchiesta presso le principali centrali. — Trattandosi di riassumere lo stato attuale della questione riflettente *il riempimento del diagramma di carico delle centrali elettriche* ho ritenuto necessario di interpellare le principali centrali elettriche del continente europeo, degli Stati Uniti e del Canadà rivolgendo loro un questionario (vedi Allegato *A*). Dirò che il numero di risposte ricevute è certamente inferiore a quello prudentemente previsto con l'applicazione di un coefficiente di noncuranza al numero delle circolari spedite: ma a tutti coloro, e furono molti in ogni caso, colleghi, ingegneri, direttori, che da paesi vicini o lontani hanno trovato modo e tempo di corrispondere all'invito, sia in forma succinta, sia in forma ancora più esauriente di quanto io avessi potuto desiderare o pensare, invio da qui i miei ringraziamenti vivissimi e cordiali.

Il mio compito è di integrare — dirò così — i risultati dell'inchiesta; esporre a quali criterî si sono informati i tecnici per migliorare il diagramma di carico delle loro centrali, sia idrauliche che termiche; riferire sui risultati ottenuti e cercare se da questi si possa ricavarne una direttiva pel futuro, un incoraggiamento a perseguire una via che fu trovata da altri corrispondente allo scopo, o se infine non sia da indicare verso qual meta debbano appuntarsi gli sforzi dei cercatori del nuovo.

Il problema si riduce a due questioni fondamentali. — Nella circolare precedentemente accennata facevo osservare come il problema, per quanto complesso, si può ridurre a due questioni fondamentali:

a) trovare altre forme di impiego dell'energia elettrica ad orario prestabilito per correggere l'andamento normale del diagramma di carico al centro di utilizzazione;

b) intercalare fra la centrale di produzione ed il luogo di consumo una forma di accumulazione di energia per correggere l'andamento del diagramma di carico alla centrale di produzione.

Fattore di carico. — Escludendo dalle nostre considerazioni quelle applicazioni dell'energia elettrica che determinano un carico pressochè costante tutto l'anno sulla centrale (industrie elettrochimiche ed elettrometallurgiche per le quali quasi sempre provvedono centrali idrauliche espressamente costruite) noi sappiamo tutti come ogni industria determinata influisca variamente sul carico istantaneo di una centrale. E, per quanto le massime richieste dei singoli consumatori, anche se appartenenti alla stessa categoria, non si verifichino contemporaneamente, ma si svolgano invece successivamente in ordine di tempo, pure il carico alla centrale varia entro limiti estesi così che il *fattore di carico*, inteso come rapporto fra la potenza media nelle 24 ore (dedotta dal lavoro totale in 24 ore espresso in kilowattore) e il carico massimo verificatosi nel detto intervallo di tempo, in altre parole il grado di utilizzazione della massima potenza disponibile, oscilla normalmente fra 0.25 e 0.4 per le centrali che provvedono ai servizi di luce, di forza motrice per le industrie e per le tramvie urbane.

Come si presentano ordinariamente i diagrammi di carico. — Invero se noi fondiamo insieme i diagrammi di carico

di una centrale elettrica di potenza almeno superiore ai 1000 kilowatt per ritrarne un diagramma medio, noi osserviamo che per circa 7 ÷ 8 mesi dell'anno, questo diagramma medio può essere rappresentato da una linea spezzata con due gradini, uno per la notte, l'altro pel giorno. Nei 4 mesi d'inverno invece la linea spezzata forma tre gradini; aggiungendosi quello corrispondente al servizio luce fra le 4 e le 7 di sera, i carichi luce cumulandosi con quelli forza in questo intervallo di tempo.

Una ricerca molto diligente sul valore del fattore di carico delle singole utilizzazioni di corrente potè essere fatta negli Stati Uniti dove è molto diffusa la tariffa combinata, di un tasso fisso in base all'indicazione dell'apparato Wright e di un tanto per kilowattora consumato. Ho creduto anzi opportuno riportare alcune tabelle (vedi Allegati *B*, *C*) che il relatore Ing. E. W. Lloyd [1]) ebbe a presentare in una conferenza tenuta alla " National Electric Light Association „ nel 1910 ritenendole di grande interesse pei tecnici.

Fattore di diversità. — Certamente non è il valore medio di questi diversi fattori di carico, il fattore di carico risultante per una centrale elettrica, perchè il *fattore di diversità* che tien conto fino ad un certo punto della distribuzione delle massime richieste nelle 24 ore ha o può avere una influenza decisiva. Noto incidentalmente come due studi molto accurati sul fattore di diversità siano stati fatti dall'ing. C. J. Russel [2]) e dall'ingegnere H. B. Gear [3]) nello scorso anno negli Stati Uniti.

Influenza della fornitura di energia ai tram interurbani. — Un decisivo miglioramento del fattore di carico totale viene sempre ottenuto dalle utilizzazioni di energia elettrica, il cui proprio fattore di carico sia elevato. Così le utilizzazioni di corrente per azionamento di motori nelle fabbriche anche se lavorano mediamente 10 ore sulle 24 e meglio ancora le utilizzazioni di corrente per servizi tramviari, specialmente se in congiunzione con una batteria di accumulatori che uniformi di-

---

[1]) = Elect. Rev. & West El. = Vol. 55, pag. 110.

[2]) " Current News (Publ. by the Philadelphia Elect. Co.) „ Vol. I, pag. 5.

[3]) Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers, tomo 29, pag. 1365.



scretamente la richiesta di energia alle generatrici, hanno incontestabilmente migliorato il fattore di carico delle centrali.

Interessantissimi, ad esempio, sono i risultati pubblicati dalla centrale di Colonia [1]) completamente a vapore. Mentre il costo di produzione del kilowattora prodotto era, mediamente, di centesimi 9,24 prima della fornitura dell'energia ai tram, si abbassò più tardi a centesimi 5,17. Probabilmente avrà influito sul risultato anche la miglior bontà dei nuovi macchinari installati, ma il risultato è cospicuo in ogni caso. La quota per interesse ed ammortizzazione del capitale d'impianto corrispondeva, prima dell'assunzione del detto servizio, a centesimi 9,36 per Kwo. prodotto, mentre si è abbassata più tardi a cent. 2,70. La produzione dell'energia aumentò anche pel fatto che la centrale abbassò il prezzo dell'energia per luce ai privati. Il prezzo medio pagato fu di 64 centesimi nel 1901; attualmente il prezzo medio si aggira intorno a 30 centesimi.

Dall'inchiesta da me fatta risulta che tutte le centrali elettriche, almeno quelle di una discreta importanza e dove non difettano i capitali per allargare adeguatamente gli impianti per corrispondere alle richieste dei clienti, trovarono un largo tornaconto di assumere tutti i servizi di forza motrice, riuscendo sempre a vincere la concorrenza degli impianti singoli presso gli industriali.

Motore Diesel. — È ben vero che vi fu chi mi scrisse, nutrire egli l'opinione che una grande centrale a vapore — sia pure provvista di macchinario moderno — non possa lottare pel prezzo della forza motrice con quella ottenuta dall'industriale stesso con un motore Diesel. Ma egli è indubbiamente in errore nel calcolare il costo del kilowattora prodotto da una grande e moderna centrale a vapore, oppure, ciò che è più facile, non avrà saputo rilevare la difettosità delle argomentazioni dell'industriale, suggestionato spesso da cifre impressionanti per la loro piccolezza piuttosto che ammaestrato dalla pratica, congiunta a buoni e sani criteri amministrativi.

Convenienza per un industriale di allacciarsi ad una rete di distribuzione. — A parte i pregi che chiamerò im-

---

[1]) Dr THIERBACH, *Betriebsführung städtischer Elektrizitätswerke,* pag. 15.

ponderabili del motore elettrico e che difficilmente si possono tradurre in moneta, è fuori ormai di discussione che come a nessuno o quasi conviene produrre per proprio conto l'energia elettrica per procacciarsi la luce, semprechè il produttore in grande dell'energia sappia moderare il suo guadagno con l'applicazione di adeguata tariffa, così a nessuno conviene procacciarsi la forza motrice con motori termici quando una grande centrale arriva o può arrivare con le sue linee in quella località.

Scomparsa graduale delle Blockcentrali. — Così tutti noi abbiamo potuto constatare la graduale, ma progressiva sparizione delle così dette Blockcentrali e dei piccoli impianti produttori, mentre le reti di distribuzione ad alta tensione andavano estendendo la loro zona d'attività prima timidamente a poche decine di chilometri e poi arditamente a centinaia di chilometri di raggio. Chiediamone conto ai costruttori di macchine elettriche e questi ci risponderanno unanimi che mentre è cresciuta a dismisura la richiesta del piccolo motore elettrico, la richiesta di una piccola generatrice è diventata estremamente rara.

Propaganda pel motore elettrico. — È vero che l'industria non dappertutto fiorisce, che non in ogni località si può rintracciare l'industriale o gli industriali che della forza motrice debbono fare uso, mentre il bisogno della illuminazione elettrica è dappertutto diventato una necessità; così che non sempre appare possibile trovare per questa via il desiderato parziale — se non totale — riempimento dei diagrammi di carico. Ma se non c'è la grande, ci può essere la piccola industria e se anche questa manca, il direttore di una centrale elettrica non deve dimenticare che il motore elettrico è per alcuni un mito, mentre potrebbe essere un potente alleato; molti sono conservatori per eccellenza, altri renitenti alla sua applicazione per la spesa d'acquisto che esso involve. Una attiva propaganda è in ogni caso raccomandabile, ma meglio ancora giova l'esperimento, la prova. In una falegnameria provvista di un motore a gas povero io m'ero fitto in capo di applicare un motore elettrico. Mai si arrivava ad un accordo, vuoi per la tariffa, perchè il proprietario computava esageratamente il suo fabbisogno in kwo, vuoi per il piccolo capitale che occorreva investire. Proposi allora una prova per due mesi. La mia Società

fece a tutte sue spese l'impianto ed avrebbe ritirato il motore a prova finita se il proprietario della falegnameria avesse dichiarato di voler ritornare al vecchio sistema. Ebbene dopo un mese il piccolo capitale necessario per l'acquisto dell'installazione era già trovato ed il proprietario della falegnameria più che convinto dei grandi vantaggi inerenti alla sostituzione.

Facilitazioni per la provvista di motori. — Questo mezzo di propaganda, molto efficace in verità, se può esperirsi talvolta, non può certo generalizzarsi. Sia detto altrettanto del sistema di noleggiare le installazioni, o meglio anticipare i fondi per queste da rimborsarsi in un certo numero di quote. Con minor aggravio per gli interessati potrebbero queste operazioni esser fatte da Istituti bancari, da quelli in specialità che hanno fra gli altri obbiettivi quello di sovvenzionare la piccola industria a qualunque ramo essa si estenda.

È indubitato che il rapidissimo diffondersi della macchina agricola in genere fu un risultato immediato della facilità del credito. E come l'aratro, rendendo più fertile la terra, ha sempre dato al contadino mille volte più di quanto gli ha costato, così il motore elettrico, dappertutto applicato, migliorando la produzione, risparmiando le braccia o permettendo la riduzione di spese vive altrimenti necessarie, compenserà sempre più che largamente il sacrifizio fatto per procacciarselo.

La pompatura dell'acqua potabile. — Ho accennato prima al benefico influsso che esercita sul fattore di carico di una centrale l'allacciamento del servizio tramviario. Un influsso ancora più benefico esercita la pompatura d'acqua potabile per la città, quando è possibile raccoglierla in serbatoi di sufficiente capacità per sospendere o ridurre l'esercizio nelle ore di grande richiesta di energia per luce e viceversa intensificarlo nelle ore di notte. Si può dire che questo servizio è l'ideale per migliorare il fattore di carico di una centrale, e molte centrali americane, per esempio, hanno fatto molta strada con le loro linee, per andare a rintracciare un cliente di questa natura.

Risultati della città di Fiume. — Ma, senza andare tanto lontano per trovare un esempio, basta citare il caso di Fiume, dove questo servizio, esercitato dalla città, insieme a quello luce, tram, forza motrice per industrie, unitamente ad altri ser-

vizi accessori, ha permesso di raggiungere nello scorso anno una produzione di circa 4 milioni di Kwo. con un solo gruppo turbo-dinamo in attività (un secondo è di riserva) di 1100 Kw. di potenza normale, raggiungendo così un fattore di carico medio del 44 %.

L'industria del freddo. — Un'altra industria, che per un complesso di ragioni è in continuo e floridissimo sviluppo, è l'industria del freddo. La produzione del ghiaccio intensificandosi fortemente nell'estate quando i carichi delle centrali elettriche sono normalmente più bassi e permettendo, senza grave scapito, un arresto parziale nella produzione nelle 24 ore, rappresenta anche essa una di quelle industrie che devono essere particolarmente ricercate da una impresa produttrice di energia elettrica. Negli Stati Uniti, per esempio, la maggior parte delle fabbriche di ghiaccio nelle grandi città, accordano preventivamente l'orario per la loro richiesta d'energia con la centrale elettrica che fornisce loro la forza motrice, avendone in contraccambio una facilitazione di tariffa, non restando però mai sospeso completamente l'esercizio dovendo pure provvedere a mantenere in temperatura le grandi vasche della salamoia.

Anche per un'altra ragione la fabbrica di ghiaccio può essere un favorevole cliente per una centrale elettrica, perchè richiedendo la produzione del ghiaccio poca mano d'opera può essere senza difficoltà intensificata nelle ore di notte. Di più il ghiaccio si presta — fino ad un certo punto almeno — ad essere accumulato.

La Byllesby and Co. di Chicago mi informa che sulle sue estesissime reti una parte non insignificante di energia va venduta per liquefazione di gas, come acido carbonico e ammoniaca in ore fuori picco. Un carico parimenti molto flessibile è dato dall'industria della preparazione dell'acetilene, sciolto nell'acetone a 90 atmosfere di pressione, entro bottiglie di acciaio riempite di asbesto. In queste condizioni l'acetone assorbe 3000 volte del suo volume di acetilene.

Industrie a servizio esclusivamente notturno. — Per tutte le centrali, ma in particolare per quelle idrauliche sprovviste di serbatoi almeno giornalieri, sarebbe di grandissimo vantaggio trovare delle industrie a servizio esclusivamente notturno. Ma, per quanto teoricamente la cosa sia senz'altro pos-

sibile, praticamente le difficoltà rendono illusori o quasi nella maggior parte dei casi i vantaggi offerti dalle centrali elettriche per la utilizzazione esclusivamente notturna dell'energia. Ciò particolarmente nei riguardi della mano d'opera. Proibito per legge in molti paesi il lavoro notturno per le donne e i fanciulli, la mano d'opera nelle ore di notte diventa immediatamente costosa, la sorveglianza più cara e difficile, la produttività delle macchine scema in forte proporzione, il lavoro è scadente.

Loro requisiti. — Solo le industrie che richiedono poca mano d'opera e grandi quantitativi d'energia possono quindi ragionevolmente rappresentare dei possibili clienti notturni per le centrali elettriche. Il nostro pensiero corre subito alle industrie elettrometallurgiche ed elettrochimiche, che presentano appunto i due or ora accennati requisiti. Però fra le tante imprese elettriche interpellate, poche davvero mi fu dato scoprire che annoverino importanti clienti di questa categoria, esclusivamente notturni.

Barite. — Fra queste è la Società Elettrica Milani di Verona, che vende un migliaio di kilowatt esclusivamente in ore comprese fra le 6 p. e le 6 ant. per l'industria della barite, industria che può essere completamente sospesa nelle ulteriori 12 ore chiare.

Smeriglio. — A Rheinfelden esiste una grande fabbrica di smeriglio che adopera un forte quantitativo di energia solo durante la notte.

Cartiere. — In molte località, dove esistono cartiere, si intensifica notevolmente il lavoro notturno per azionare le smembratrici del legno.

Ma là dove forni elettrici, camere di ricupero, bagni elettrolitici, ecc. richiedono un tempo alquanto lungo per essere portati alla temperatura di regime e dare un prodotto industrialmente perfetto, l'interruzione dell'esercizio non è possibile o per lo meno non è vantaggiosa, per quanto basso sia il costo dell'energia. Sono per la maggior parte industrie la cui esistenza è affidata tutta al grande buon prezzo dell'energia, un prezzo che lascia poco margine al produttore, che ritrova il suo tornaconto soltanto nella ingente quantità di Kwo. da fornire.

Carburo di calcio. — Anche l'industria del carburo, così facile, può soltanto servire come correttivo per la disponibilità delle centrali idrauliche a seconda delle stagioni, non mai per correggere un fattore di carico giornaliero.

Prodotti azotati. — Così l'industria dell'ossidazione dell'azoto, almeno secondo determinati processi, sembra presentare i requisiti di una industria ad orario esclusivamente notturno. E noi sappiamo con quanta pertinacia il Dr C. Rossi prosegua a Legnano gli esperimenti per una industria di questo genere. Sarebbe una vera fortuna che il processo trionfasse di ogni difficoltà perchè il prodotto azotato trova impiego dappertutto e questa industria potrebbe rappresentare un utilissimo sottoprodotto per tante centrali idroelettriche costrette a lasciar correre liberamente per gli sfioratori per un certo numero d'ore buona parte dell'acqua di cui dispongono.

Irrigazione dei terreni. — Una utilizzazione notturna dell'energia che in alcuni paesi degli Stati Uniti nella stagione estiva è largamente sviluppata è quella della irrigazione dei terreni a mezzo di pompe a movimento elettrico. Là dove mancano speciali opere irrigatorie l'acqua può essere estratta dal sottosuolo senza grave dispendio, specialmente se la forza motrice è molto a buon mercato, come può esserlo se l'orario è prefissato. È fredda l'acqua di sottosuolo, manca cioè di quel requisito di temperatura che tanto influisce sul risultato dell'irrigazione. Ma è sempre preferibile un modesto raccolto al perderlo totalmente se troppo esposto ai cocenti raggi del sole.

Pompe di esaurimento per miniere. — In certi distretti minerari, in Westfalia per esempio, vengono adoperati ingenti quantitativi di energia al prezzo di circa 4 centesimi per Kwo. per azionare pompe d'esaurimento con esercizio soltanto notturno. Sfortunatamente questo impiego così vantaggioso dell'energia è possibile soltanto per poche e determinate località, per quanto si ricorra all'innalzamento dell'acqua in molti altri siti per costituire un accumulatore d'energia; ma di ciò dirò più dettagliatamente più tardi.

Applicazioni agricole. — In Germania si dà grande importanza alle applicazioni agricole, ma molto ancora non s'è

fatto in questo riguardo, più che tutto, ritengo, per i considerevoli capitali che queste applicazioni involvono.

Molte altre furono le idee escogitate e le industrie preconizzate ad assorbire grandi quantitativi di energia con orario esclusivamente notturno o atte a subire una interruzione nelle ore di maggior carico della centrale da cui dipendono; ma le principali restano quelle da me accennate.

Esse potranno talvolta trovare le condizioni favorevoli per poter essere tentate con reciproco profitto, del produttore e del consumatore d'energia. Ma un impiego della energia elettrica a base molto larga, applicabile da tutte le centrali elettriche, siano esse termiche o idrauliche, capace di adattarsi alle esigenze della centrale di produzione per dare al consumatore la possibilità di fruire di un basso prezzo dell'energia, un impiego siffatto è ancora da trovarsi.

Applicazione al riscaldamento ed alla cucina. — Di larghissima base, da tutti utilizzabile, ricercata quanto è la luce, sarebbe l'applicazione della energia elettrica allo sviluppo del calore, ed in questo riguardo molto fu scritto, nè io ripeterò quanto si può leggere in proposito sui giornali tecnici. Ma vi sono anche qui notevoli difficoltà che intralciano un rapido sviluppo di questa importantissima applicazione. Non parliamo delle difficoltà derivanti dal fisco, che rendono questo impiego proibitivo o quasi.

Tassa sull'energia termica prodotta elettricamente. — È strano, per esempio, che in Italia, dove si ebbe l'intuito dell'enorme sviluppo che certo avrebbero preso le applicazioni elettriche, e si preparò il terreno adatto a questo sviluppo con una sana legislazione in materia di servitù, si abbia avuto il disgraziatissimo pensiero di tassare in ragione di 6 cent. per Kwo. l'energia elettrica destinata ad essere trasformata in calore. È noto che appena quando l'energia costa circa 10 centesimi per Kwo. l'applicazione in parola almeno per apparecchi da cucina con tutti gli enormi vantaggi che ad essa vanno congiunti, può sostenere la concorrenza del gas venduto fra 15 e 20 centesimi al metro cubo. Se ai 10 centesimi per Kwo. aggiungiamo 6 centesimi per la tassa è chiaro che la possibilità di concorrenza non regge più: l'impiego diventa proibitivo. E poichè il gettito di questa imposta è derisorio, auguriamoci che

essa abbia a sparire e possano in tal modo le tante centrali elettriche italiane trovare un nuovo sbocco e un nuovo cespite d'entrata. Il fisco ci guadagnerà ben più col maggior gettito della imposta di ricchezza mobile!

Progressi negli apparecchi da cucina. — Gli apparecchi destinati alla trasformazione dell'energia elettrica in calore, e specialmente gli apparecchi da cucina, hanno fatto in questi ultimi anni, progressi enormi. Non tanto in rendimento, che, si sa, è ottimo, perchè tutta l'energia elettrica impiegata si ritrova sotto forma di calore; ma piuttosto progressi grandi nella solidità, nella durata e nel prezzo d'acquisto, elemento tutt'altro che trascurabile.

L'esempio dell'Inghilterra. — Dall'inchiesta da me fatta è risultato che il paese dove questa applicazione ha preso il massimo sviluppo è l'Inghilterra, proprio il paese dove le forze idrauliche sono tanto scarse. Nella centrale di St-Marylebone, per es., esclusivamente termica, con una potenzialità di 1200 Kw., l'applicazione della energia elettrica al riscaldamento rappresenta un carico notevole sul totale; basti il dire che i nuovi allacciamenti rappresentavano nel 1907 Kw. 364, nel 1908 Kw. 252, nel 1909 Kw. 379, nel 1910 Kw. 285, nel 1911 (effettuati e previsti) Kw. 800. La Compagnia fa una grande pubblicità, tiene speciali acquisitori che offrono e trattano coi consumatori, vende apparati, li affitta con diritto di compera, presta apparati per prova, allestisce di quando in quando delle piccole esposizioni. Insomma tutto è organizzato per obbligare anche i più renitenti a far uso della cucina elettrica.

Per dare un'idea dei prezzi dirò, per es., che nel distretto di Hampstead a Londra si paga un tasso fisso di 212 fr. l'anno per Kw. allacciato o richiesto, più 10 centesimi per ogni Kwo. consumato.

Quasi dappertutto in Inghilterra si accordano per questa applicazione prezzi di favore, ma resta inibito l'uso della corrente durante la punta della luce. I diagrammi di carico non ne restano tuttavia sensibilmente migliorati; e la ragione è evidente.

Picco dovuto alle richieste di energia per applicazioni termiche. — Anche il calore — come la luce — in una famiglia è richiesto in ore determinate. Quando il pasto principale della

giornata avviene nelle ore chiare la centrale elettrica ha certamente tutto l'interesse di curare questo impiego dell'energia; ma se il pasto principale della giornata avviene alla sera? Con gli apparati attuali, si può stimare che la cucina elettrica richieda da $^1/_2$ Kwo. ad 1 Kwo. al giorno per persona [1]). Prendendo la media 0,75 risulta che per ogni 1000 persone occorrono 75 Kwo. giornalieri. Se ammettiamo che questo consumo si concentri in tre ore della giornata, la cucina elettrica darà un carico di 25 Kw. per ogni 1000 abitanti e tenderà perciò a stabilirsi nel diagramma in quelle tre ore un picco consimile a quello della luce. Questo picco è perfettamente visibile nel diagramma della centrale di St-Marylebone dianzi citato, fra le $10\frac{1}{2}$ e le $13\frac{1}{2}$.

Applicazioni industriali del riscaldamento elettrico. — Di applicazioni industriali del riscaldamento elettrico non si hanno che esempi limitatissimi. Una centrale americana mi scrisse di aver tentato una applicazione di questo genere in una birreria per riscaldare la cervogia nelle sole ore notturne. Ma avrebbe bisognato fornire l'energia a centesimi 1.5 per Kwo. per concorrere col vapore; e la proposta cadde.

Accumulatori di calore. — Gli sforzi dei costruttori di apparecchi elettrici di riscaldamento e cucina sono però oggi diretti in una direzione che porterà indubbiamente degli enormi vantaggi ai produttori di energia elettrica ed i risultati di questi sforzi daranno probabilmente una chiave comune per riempire — se non completamente — almeno in una larga misura i vuoti dei diagrammi di carico delle nostre centrali elettriche. Alludo agli accumulatori di calore.

Se i 75 Kwo. giornalieri, di cui prima feci cenno, necessari per 1000 persone, fossero distribuiti sopra 18 ore, il carico alla centrale sarebbe poco più di 4 Kw., anzichè 25, con quale enorme miglioramento per il fattore di carico, ognuno comprende. Basterebbe che una famiglia di 6 persone acquistasse *à forfait* dalla centrale $^1/_4$ di Kilowatt per 18 ore sulle 24 per

---

[1]) DETTMAR, *Die Elektrizität im Hause.* Elektrot. Zeitsch., 1911, Num. 26, 27, 28, 29, 30.

soddisfare a tutti i bisogni di cucina. E poichè ogni centrale, anche a vapore, può vendere — a queste condizioni — il Kw. *à forfait* a meno di 300 franchi l'anno, la cucina elettrica diventerebbe l'ideale sotto il triplice aspetto della economia, della comodità e della sicurezza. Quel $^1/_4$ di Kilowatt servirebbe alla sera per l'illuminazione della casa.

Per accumulare calore anzitutto conviene impedirne la dispersione, altrimenti scema rapidamente il rendimento dell'apparecchio che teoricamente è del 100 %. Anche qui — come in tanti altri campi della tecnica — i progressi fatti in un ramo si ripercuotono beneficamente anche a favore di un altro. Così il concetto delle intercapedini vuote d'aria a superfici speculari applicate per la prima volta per conservare l'aria liquida servono oggi anche per conservare il calore.

Apparecchio a steatite. — Dall'America mi viene segnalato un apparecchio dove questa idea è esplicata praticamente, in congiunzione con una massa polverulenta di steatite che rappresenta il vero accumulatore di calore. Questo viene fornito da un solito elemento a resistenza. La massima temperatura raggiunta è di 230 gradi centigradi, sufficiente per cuocere qualunque vivanda. Abbandonando l'apparecchio a se stesso, la temperatura è ancora di 153 gradi dopo 15 ore, con una temperatura dell'ambiente di 20 centigradi.

Therol. — Maggiori particolari non potei avere; ma in Inghilterra ha preso da due anni a questa parte un grandissimo sviluppo un accumulatore di calore per mettere a disposizione in qualunque momento acqua calda alla temperatura desiderata, accumulatore noto sotto il nome di " Therol „.

Una lunga serpentina di ferro è imprigionata entro un grande blocco di ferro che gli è stato fuso attorno. In una cavità del blocco fatta espressamente risultare durante la fusione trovasi l'elemento a resistenza destinato a restare permanentemente sotto tensione fino a tanto che il blocco di ferro raggiunge la massima temperatura concessa. Un termostato opportuno apre allora automaticamente il circuito, e lo richiude non appena la temperatura è scesa sotto un certo grado. All'esterno una camicia apposita a doppia parete si oppone allo sperdimento di calore; l'acqua che la riempie subisce un riscaldamento preventivo. Di qui essa penetra nel serpentino ed esce alla estre-

mità di questo, aprendo quando lo si desidera un robinetto alla temperatura voluta sottraendo calore dalla massa di ferro che circonda il serpentino.

Il calore specifico del ferro è relativamente piccolo, circa 0,1; ma il suo peso specifico essendo circa 8 si comprende come il calore accumulato in un determinato volume di ferro ad una data temperatura sia già l'80 °/₀ di quello accumulato in un identico volume d'acqua preso alla stessa temperatura. Siccome il ferro può essere portato senza inconvenienti anche sopra a 250 gradi, si comprende che anche senza grandi volumi di ferro si può arrivare a scaldare masse considerevoli d'acqua a temperature comprese fra 30 e 50 gradi.

Avvenire degli accumulatori di calore. — Io ritengo di non ingannarmi prevedendo per gli accumulatori di calore per uso di riscaldamento e cucina un brillante avvenire. Non siamo che agli inizi e la tecnica si avvantaggerà rapidamente di ogni buona idea degli spiriti inventivi in questo riguardo.

Lo spianamento dei diagrammi è un problema di soluzione possibile. — Se noi pensiamo che — risolto questo problema — ogni famiglia potrebbe acquistare *à forfait* un determinato quantitativo, di energia elettrica per impiegarlo in tutti i possibili usi domestici, luce, forza e calore, e potrebbe forse anche occorrendo intensificare la richiesta nelle ore notturne per fruire di un prezzo ridotto, noi arriviamo al risultato che lo spianamento dei nostri diagrammi di carico, è un problema razionale e di possibile soluzione e non ci resta che far voti perchè la realizzazione non sia molto lontana.

L'accumulatore elettrico. — Fornire continuamente un filo di energia ed accumularla in punti opportuni, sì da soddisfare qualunque momentanea richiesta, per non aggravare condutture, trasformatori, macchine, ecc... fu sempre il nocciolo di tutte le questioni di carattere economico inerenti ad un impianto di distribuzione di energia elettrica. E l'accumulatore elettrico, a cui soltanto possiamo domandare la realizzazione di questo sogno, si è sempre ostinato, malgrado l'enorme somma di attività intellettuale spesavi intorno, a darci bensì segni non dubbi di progresso, ma molto e molto lentamente.

Perfezionamenti. — Dell' accumulatore elettrico è più facile dire male di quanto occorra di cura assidua, di diligenza e buona volontà per ottenerne buoni risultati e poterne dire bene. Gli accumulatori a piombo attuali non si possono neppure più confrontare con quelli di soli dieci anni fa in riguardo alla durata: poca strada soltanto si è fatta nell'economia di peso. Gli accumulatori ferronickel sono al fuoco delle prove. Comunque una batteria di accumulatori, destinata a ricevere corrente 18 ore sulle 24 sotto un carico costante, rappresenta o rappresenterebbe un cliente ideale per una centrale elettrica.

Loro rendimento confrontato con quello di un trasformatore. — Mi si opporrà la questione del rendimento, pel fatto che — anche ammessa una distribuzione a corrente continua e quindi non necessaria una trasformazione nella natura della corrente — non si arriverà ad utilizzare più del 75 % dell'energia somministrata. Ma prendiamo per converso un impianto a corrente alternata e consideriamo un trasformatore utilizzato solo per luce destinato alle lampade di un grande edificio nel centro di una città. L'utilizzazione sua non sarà certo superiore a 500 ore; perciò se è della potenza di 50 Kw. fornirà in un anno 25.000 Kwo. Fissiamo a 2 % la perdita media. In un anno le perdite ammonteranno a 8760 Kwo. Abbiamo dunque una utilizzazione di 74 % dell'energia somministrata, come per l'accumulatore.

Batterie di accumulatori presso privati. — Le grandi centrali elettriche hanno bensì fatto gradatamente scomparire le piccole block-centrali nei teatri, nei grandi alberghi, nei grandi uffici, nei grandi palazzi, ecc., ma non hanno fatto del tutto scomparire le batterie di accumulatori presso singoli utenti; anzi questa idea è in completa ripresa adesso, tanto dove esiste già la distribuzione a corrente continua quanto dove per la presenza della corrente alternata si esige una trasformazione, il convertitore a mercurio diventando ogni giorno più un apparecchio di uso industriale.

Esempio della Berliner Elektrizitätswerke. — A Berlino, per es., la Berliner Elektrizitäts-werke, nella zona servita da corrente continua, non solo permette, ma favorisce in ogni guisa l'impianto di tali batterie per clienti che abbiano un

consumo di almeno 40.000 Kwo. annui, di cui almeno 15.000 per carica di accumulatori. La batteria lavora soltanto 6 mesi all'anno; e può restare in carica 20 ore sulle 24. Nelle altre 4 ore (dalle $3\frac{1}{2}$ alle $7\frac{1}{2}$; il così detto Sperrzeit) la corrente è tolta al cliente. Egli impiega allora la batteria. Nelle altre epoche dell'anno le lampade restano direttamente allacciate alla rete. L'energia viene pagata come quella per forza motrice a orario limitato; precisamente 16 pfennig, circa 20 cent. per Kwo. Quando il cliente fa un contratto per 10 anni la manutenzione e la sorveglianza della batteria viene assunta dalla impresa fornitrice. Il rendimento medio globale, compreso il rendimento del gruppo necessario per effettuare la carica completa, risulta di 0,68. Al principio dell'anno 1910 la " Berliner Elektrizitätswerke „ aveva in esercizio 50 di queste batterie ed il costo del Kwo. risultante pel cliente, tenuto conto di tutte le spese, interesse, ammortamento, servizio e manutenzione, fu di 23 centesimi come minimo e 37,7 come massimo. Risultato indubbiamente ragguardevole tanto pel cliente come per la centrale fornitrice.

Io ritengo che questo sistema, in uso del resto, sia pure in scala limitata, in molte altre città, destinato a tener separato dalla rete nelle ore di maggior lavoro della Centrale un grosso cliente il cui impianto presenta un bassissimo fattore di carico, meriti di essere studiato con particolare diligenza dai tecnici direttori di imprese elettriche.

Tendenza all'accentramento di determinati servizi nelle grandi case di abitazione. — Indipendentemente dai teatri, alberghi, grandi uffici, ecc., possiamo constatare che la tendenza è per l'accentramento di determinati servizi anche nelle grandi case di abitazione. Si distribuisce da un unico termosifone l'acqua calda per temperare le rigidezze dell'inverno; ventilatori centralizzati distribuiscono aria fresca negli appartamenti durante l'estate; presto sarà la volta degli aspiratori per allontanare la polvere, delle stufe di disinfezione, delle piccole celle frigorifere per conservare le vivande di ogni inquilino. L'accumulatore elettrico figurerà forse tra breve non in ultima linea, anche per assicurare il servizio della luce e degli ascensori che — così alimentati — non disturberanno più, come adesso avviene (certamente era peggio anni fa quando

non esisteva in commercio la lampada metallica), le lampade in derivazione sulla stessa conduttura.

Carica di accumulatori per automobili. — È questa una tendenza che tende a generalizzarsi anche nelle grandi città americane. Colà poi è in grande voga l'automobile elettrico. Nel 1910 Cleveland aveva 1796 automobili elettrici con 600 stazioni di carica, Chicago 3000 automobili, nello Stato di New York se ne contavano 7000. Quasi dappertutto viene impiegato il raddrizzatore a mercurio.

Accumulatori nelle centrali. — L'accumulatore elettrico, quale ausiliario per scemare la punta del diagramma, rispettivamente per limitare il carico massimo sulle macchine, è ancora largamente impiegato, specialmente in quelle centrali dove furono mantenute, almeno parzialmente, nelle parti centriche della città, le distribuzioni a corrente continua. Ciò si fa a Milano, a Torino, a Vienna, a Parigi, ecc. L'energia accumulata non è grande cosa rispetto al lavoro totale giornaliero delle macchine: si limita d'ordinario a pochi percento. Ma in corrispondenza al picco della luce il beneficio può essere enorme. Per esempio a Milano quando il carico sale a 35.000 Kw., 5500 di questi possono essere dati dagli accumulatori, gli altri 29.500 dalle macchine. Questi due numeri stanno tra loro come 18.6 e 100.

Del rimanente è notorio come in Germania siano numerosissime le grandi centrali elettriche provviste di grandi batterie di accumulatori. Basta consultare la grande statistica edita dal “ Verband Deutscher Elektrotechnischer „ per persuadersi dell'importante ufficio che hanno queste batterie. In alcune centrali danno anche il 30 % della potenza totale in corrispondenza del picco luce. A Cassel si arriva fino al 36 %.

Impiego degli accumulatori negli impianti a correnti alternate. — Qualche autore ha cercato di dimostrare la convenienza di impiegare grandi batterie anche in impianti a correnti alternate, pur sottostando alla quadruplice trasformazione. Esempi notevoli e, più che tutto, concludenti risultati d'esercizio in proposito ancora non abbiamo. Tuttavia negli impianti a convertitori con batterie di accumulatori, si usano questi tal-

volta per ridurre, attraverso le inevitabili trasformazioni, i picchi del carico sugli alternatori.

Indipendentemente dalla possibilità di allacciamento ad una determinata rete di distribuzione di utenti aventi consumi in misura e in orario così favorevoli da produrre un miglioramento del fattore di carico giornaliero o di stagione di una centrale elettrica, molte imprese di distribuzione hanno cercato con opportune tariffe di frenare l'impiego dell'energia in determinate ore, variabili magari a seconda delle stagioni per favorirlo invece in altre.

Influenza delle tariffe sul fattore di carico. — Ora io non farò qui una disamina di tutte le specie di tariffe escogitate a questo intento, perchè la cosa non avrebbe che un interesse assai relativo per il problema in questione. Pur tuttavia non posso passare sotto silenzio che dalla inchiesta da me fatta è risultato che il sistema della doppia tariffa per forza motrice ha nel complesso dato risultati migliori della tariffa ad orario limitato. Consiste la prima a far pagare ad un cliente l'energia per forza motrice presa nelle ore del picco luce, più cara e di molto di quanto la si fa pagare nelle altre ore fuori picco. La seconda consiste a distaccare il cliente dalla rete nelle ore del picco luce.

Sistema della doppia tariffa. — Entrambi i sistemi non sono pensabili ed utilizzabili che per la piccola forza motrice o per specialissime industrie, non dappertutto esistenti; sono senz'altro possibili e danno anche buoni risultati dove è molto diffuso il piccolo motore elettrico a domicilio come in Svizzera ed in alcuni paesi della Francia e della Germania.

Sistema dell'orario limitato. — Il secondo sistema — quello dell'orario limitato — è indubbiamente alquanto antipatico.

Tariffa combinata. — Anche il Gajczak, direttore dell'impianto elettrico di Cracovia e che si è occupato con molta profondità di questioni tariffarie, mi scriveva di non aver ottenuto troppo brillanti risultati da questo sistema e raccomanda invece il sistema della tariffa combinata, un importo *à forfait* corrispondente all'importanza dell'installazione più una quota pro-

porzionale al consumo in Kwo., sistema già diffusissimo anche in America, come dissi in principio, e che permette anche l'adozione della doppia tariffa per la forza motrice per far pagare a più caro prezzo l'energia consumata dai motori nelle ore del picco luce. È, in fondo, la tariffa più razionale, almeno per gli impianti con centrali a vapore, perchè il tasso fisso per Kw. installato o richiesto sta a rappresentare le spese fisse della azienda elettrica, mentre la tariffa per Kwo. consumato sta a rappresentare le spese variabili. In tal modo il prezzo finale del Kwo. risulta pel consumatore automaticamente tanto più basso quanto più elevata è l'utilizzazione del Kw. di potenza richiesto.

È fuori di dubbio che una saggia politica tariffaria è uno dei mezzi più efficaci per innalzare il fattore di carico di una centrale e migliorare l'andamento del diagramma. Ma non bisogna dimenticare che i tentativi in questo terreno vanno fatti con grande prudenza per non dissestare un bilancio, il cui equilibramento avrà già forse costato sforzi e sacrifici non pochi. Nè d'altra parte si possono modificare troppo di frequente le tariffe, anche se la modificazione è sempre a tutto vantaggio del consumatore.

Tariffa multipla. — In alcune località — e l'esempio lo diede per prima la città di Losanna — è stata introdotta la tariffa multipla. Non preoccupandosi più l'impresa distributrice di quale sia la natura dell'utilizzazione dell'energia che fa il cliente, se per luce o per forza o per cucina, ecc., stabilisce per esempio 4 prezzi pel Kwo, che variano parecchie volte nella giornata e diversamente a seconda delle stagioni.

Esempio di Losanna. — Così a Losanna vi sono 4 tariffe, 5, 10, 27.5 e 50 centesimi per Kwo. Ogni 3 o 4 ore la tariffa cambia. D'inverno cambia 10 volte in un giorno, d'estate soltanto 6 volte. Vi sono 3 orari di stagione. Uno va da nov. a febb.; il secondo è valevole pei mesi di marzo, aprile, settembre e ottobre; il terzo comprende i 4 mesi estivi maggio, giugno, luglio e agosto. Il contatore non è gran che più complicato di un ordinario contatore a tariffa doppia. Vi è una mostra pei Kwo. consumati; una seconda mostra indica direttamente in franchi quanto il cliente deve pagare. Quattro volte all'anno appositi incaricati modificano la camma che regola l'applicazione delle varie tariffe nelle ore stabilite.

Alla fine del 1910 esistevano in Losanna 1773 abbonati con contatore ordinario e indicatore Wright e 4952 abbonati a tariffa multipla.

Dalla direzione dei servizi elettrici della città di Losanna ho ricevuto le più tranquillanti informazioni sulla praticità di questo sistema e lo attesta il fatto che la grande maggioranza dei clienti lo ha adottato. Sistema evidentemente impiegabile dove prepondera il servizio luce, ha permesso a Losanna di raggiungere, per la sola luce, dei fattori di carico veramente eccezionali. Essi vanno da un minimo di 0,385 ad un massimo di 0,52 a seconda delle stagioni e delle giornate, valori da me dedotti con la scorta dei diagrammi gentilmente favoritimi.

***

Impianti idroelettrici a serbatoio. — Per quanto la questione non si connetta che indirettamente a quella del riempimento del diagramma di carico di una centrale, io devo dire qualche parola anche sui beneficî che arrecano o che potrebbero arrecare alle aziende elettriche gli impianti sussidiari per accumulare l'energia prima di cui essi dispongono. La superiorità di un impianto idroelettrico a serbatoio, anche se soltanto giornaliero, sopra uno a portata costante è palmare e sono noti i progressi fatti nella tecnica degli sbarramenti e quanti beneficî abbiano arrecato alle centrali idroelettriche queste opere, le quali hanno anche altri compiti di indole economica da soddisfare.

Impianti di accumulazione d'acqua. — Ove la natura non si presta alla creazione di siffatte opere, ma pure l'altimetria del terreno concede la costruzione di un alto castello d'acqua con una sottostante centrale, si è immaginato un impianto di accumulazione, innalzando acqua nelle ore del minor carico della centrale principale, durante la notte e durante le feste, per usufruirla nelle ore del picco luce o per punte eccezionali dovute a servizi ferroviari, facendola agire sulle turbine della centrale sussidiaria. E noi tutti conosciamo gli eleganti impianti di Olten Aarburg, di Sciaffusa, di Clenezzo presso Bergamo, di Funghera, ed altri, ma sappiamo altresì che il loro

rendimento globale è piuttosto scarso, aggirandosi fra il 45 e il 50 % e che il costo d'installazione è piuttosto elevato.

Caso dei servizi ferroviari. — È per questo che quasi sempre si è data la preferenza ad impianti termici per i servizi sussidiari nelle ore delle punte. Essi tuttavia sono chiamati ad una funzione importantissima nel caso di grandi servizi a punte molto pronunciate con bassissimo fattore di carico, come possono esserlo o potranno esserlo molti servizi ferroviari su tronchi più o meno accidentati. È una questione di enorme importanza questa, se si pensa che nei riguardi ferroviari si tengono in parecchi paesi immobilizzate delle ingentissime forze d'acqua, che farebbero forse la ricchezza di qualche regione, con la speciosa giustificazione che la potenza media ricavabile dall'opera idraulica progettata sarebbe appena sufficiente a coprire i bisogni ferroviari. La verità è che il lavoro in *megajoule* che il servizio ferroviario richiederebbe è appena forse il 10 % di quello totale ottenibile dall'opera progettata e che diverrebbe il 20 % coll'annesso impianto di accumulazione; una percentuale che la maggior parte delle volte gli interessati cederebbero certo al puro prezzo di costo pur di non veder negata o procrastinata all'infinito una concessione, tanto più che questo 20 % di lavoro andrebbe somministrato a potenza costante o quasi.

Ostacolano alquanto la erezione di questi impianti di accumulazione le condizioni locali, raramente favorevoli in ogni direzione.

Centrali idroelettriche in profondità. — È per questo che fu proposto — ma ch'io sappia non ancora praticamente realizzato — anzichè creare questi serbatoi di accumulamento in altezza, di disporre le centrali sussidiarie in profondità. Immaginiamo un pozzo verticale molto profondo con due serbatoi terminali, uno a livello del terreno, l'altro all'estremità inferiore del pozzo. L'acqua passando dal primo al secondo agisce sulla turbina collocata in fondo al pozzo; in altre ore l'acqua viene ripresa e rialzata mediante una pompa. Con due serbatoi da 10.000 mc. di capacità ed un pozzo profondo 500 metri si potrebbe ottenere un lavoro di 10.000 Kwo.

Convenienza di queste centrali. — Il Barham nell'*Electrician* del 2 dicembre 1910 ha fatto uno studio mettendo a

raffronto il costo d'impianto e d'esercizio di un impianto sussidiario per una centrale, a vapore, con accumulatori elettrici e con accumulatore idraulico con centrale in profondità, concludendo per la superiorità di quest'ultimo. Parmi un po' arrischiata la sua conclusione, perchè la creazione di un serbatoio a grande profondità e di volume non indifferente è opera non dappertutto possibile e congiunta ad incertezze e sorprese che potrebbero seriamente compromettere la bontà di ogni calcolo economico preventivo. Bisognerebbe che queste grandi cavità sotterranee fossero già preparate dalla natura, come è nella regione carsica a ridosso di Trieste, oppure preparate per altro scopo dalla mano dell'uomo. Così la " Rheinisch-Westphälisches Elektrizitätswerke " effettuerà prossimamente uno o più di questi impianti utilizzando pozzi e gallerie ormai sfruttate, profonde da 500 a 800 metri, esistenti in quell'importante distretto minerario.

Accumulatori di calore per impianti termici. — Da qualche tempo si studia pure con grande alacrità il problema di accumulare il calore per le centrali termiche per ridurre al minimo il numero delle caldaie necessarie, alimentarle sempre con acqua alla temperatura corrispondente alla pressione esistente in caldaia, ciò che ha grande importanza anche nei riguardi della loro buona manutenzione, ridurre in una proporzione tutt'altro che indifferente il consumo di carbone, conseguenza della produzione pressochè costante di vapore delle caldaie, e che può andare sino al 20 % secondo le prove dei professori Unwin e Cormak sopra impianti di accumulazione di calore fatti sul sistema dell'ingegnere inglese Druitt Halpin [1]. La centrale elettrica della metropolitana del distretto di San Pancrazio a Londra è provvista di uno di questi accumulatori ed i risultati finora ottenuti sono assai promettenti.



Conclusione. — Ritornando ora — per concludere — alla questione del riempimento dei diagrammi di carico, possiamo

[1]) DIEBIELD, *Der Wärmespeicher von Druitt Halpin.* — Zeitsch. für Dampfkestel und Maschinenbau, 12 maggio 1911.

dire che una soluzione parziale del problema è sempre possibile e che il limite a cui si può portare il fattore di carico medio di una centrale dipende da un enorme complesso di circostanze, variabile da luogo a luogo e da centrale a centrale.

Ma molto ancora vi influirà l'indirizzo che il direttore d'una azienda elettrica saprà imprimervi se non gli faranno difetto i mezzi necessari per mandare ad effetto quanto egli, dopo ponderato studio e maturato esame, crederà opportuno e necessario di fare.

La diversa importanza della richiesta di energia elettrica durante le 24 ore non si potrà mai ugualizzare. Tanto varrebbe abrogare leggi, alterare costumi, sistemi di vita, abitudini, necessità imperiose. La accumulazione dell'energia sotto una o l'altra delle sue forme soltanto potrà correggere in modo completo o quasi gli enormi scompensi che noi verifichiamo nelle nostre centrali e non v'ha dubbio che nell'incessante progredire della tecnica si troverà presto o tardi di che avvantaggiarsi in questo riguardo.

Fortuna grande sarebbe per il nostro Congresso Internazionale se un'idea nuova germogliasse dalla discussione che seguirà a questa mia modesta relazione, discussione che io mi auguro viva e feconda.

ALLEGATO *A*.

Spettabile Ditta,

La Presidenza del Comitato Ordinatore del Congresso Internazionale delle Applicazioni Elettriche, che si terrà quest'anno a Torino, si è compiaciuta di invitarmi a presentare un Rapporto sul Tema 21:

Il riempimento dei diagrammi di carico delle Centrali Elettriche.

Nell'assumere il gradito incarico ho fatto fidanza sulla gentile cooperazione di quanti fra tecnici industriali, imprese di distribuzione di energia elettrica, costruttori, ecc. ebbero ad occuparsi di questo importantissimo problema che sta in così stretta relazione con lo sfruttamento razionale del macchinario, delle centrali, delle linee, trasformatori, ecc., nonchè — per gli impianti idroelettrici — della utilizzazione, quanto più completa possibile, della energia disponibile.

Il problema, per quanto complesso, si può ridurre essenzialmente a due questioni fondamentali:

a) trovare altre forme di impiego dell'energia elettrica ad orario prestabilito per correggere l'andamento normale del diagramma di carico al centro di utilizzazione;

b) intercalare fra la centrale di produzione ed il luogo di consumo una forma di accumulazione di energia. per correggere l'andamento del diagramma di carico alla centrale di produzione.

Nella supposizione che codesta Spettabile Ditta abbia avuto occasione di occuparsi di questo importantissimo problema in uno o l'altro dei suoi aspetti, mi fo sollecito di rivolgerle alcune domande di carattere generale, con preghiera di volervi ordinatamente rispondere, accompagnando ogni risposta con quelle informazioni di dettaglio che la Ditta riterrà opportune nei riguardi dello scopo a cui la presente inchiesta è rivolta.

Penso che anche i costruttori possono contribuire vantaggiosamente a poter esporre in modo esauriente lo stato attuale della questione, perchè essi avranno dovuto spesso tradurre praticamente i concetti dell'industriale e sono perciò in grado di farmi pervenire delle informazioni preziose.

Potranno anche essermi inviate memorie illustrative di impianti o speciali pubblicazioni, con preghiera però di voler compiacentemente farmi rilevare i

punti delle stesse che hanno una stretta attinenza col problema su cui si tratta di riferire.

Il problema del riempimento dei diagrammi di carico delle centrali elettriche interessa molto da vicino tutti i produttori di energia elettrica, ed arrivare a conoscere esattamente quanto è stato fatto fino ad oggi per darvi una razionale e pratica soluzione, è del massimo interesse per tutti. Per questo io mi auguro che anche codesta Spettabile Ditta si darà premura di rispondere nel modo più esauriente possibile, contribuendo così efficacemente alla riuscita dell'inchiesta ed alla compilazione di un Rapporto Ufficiale che deve avere indirizzo prevalentemente pratico, in conformità all'indole del Congresso.

Mi sarà gradito ricevere un riscontro non più tardi del 30 maggio a. c., ed anticipando i miei sentiti ringraziamenti mi segno con perfetto ossequio

devotissimo
G. SARTORI.

Domande.

1. — La vostra Centrale o le vostre Centrali sono alimentate da forze idrauliche, oppure sono provviste di macchine termiche (carbone, gas, olii pesanti)?

   Quale è la potenzialità totale dei vostri impianti in Kilowatt per ogni determinata rete?

2. — Se entrambe le due forme ad 1) sono impiegate, in quali proporzioni stanno le potenze rispettive?

3. — Avete in esercizio Centrali idroelettriche dove è possibile una diretta accumulazione giornaliera dell'acqua?

4. — Come si sviluppa mediamente il vostro diagramma giornaliero di carico? Favorite inviare un diagramma medio.

5. — Indicate quale è la prevalente applicazione dell'energia elettrica sulla vostra rete di distribuzione, e — se vi è possibile — tracciate sul diagramma generale i singoli diagrammi corrispondenti ai carichi luce, calefazione, forza motrice, tramway, ferrovie, industrie elettrometallurgiche od elettrochimiche, ecc.

6. — Esistono sulla vostra rete impianti di accumulazione di energia e sotto quale forma? Quale è il loro scopo?

   Questi impianti stanno sotto il vostro controllo, oppure appartengono ad utenti privati?

   Quale è il lavoro in Kilowattora accumulato giornalmente in totale?

   Quale percentuale rappresenta questo lavoro accumulato sul lavoro totale giornaliero prodotto dalle vostre Centrali?

7. — Avete cercato di favorire con prezzi e tariffe speciali o con altri mezzi

l'impiego della energia elettrica per determinate applicazioni con lo scopo di migliorare l'andamento del diagramma di carico al centro di consumo?

Avete fatto ricorso a mezzi speciali di propaganda per raggiungere più facilmente il vostro scopo e quali?

8. — Dai risultati pratici del vostro esercizio quale vi sembra l'applicazione dell'energia più adatta a correggere gli enormi scompensi che vi sono nell'andamento del diagramma di carico delle Centrali Elettriche?

9. — Vorreste dirmi quale è la vostra opinione in generale in merito al problema?

Allegato *B*.

NATURA DEL CONSUMATORE	Numero dei consumatori	Lampade allacciate da 50 watt	Kilowattora per mese	Massimo totale	Fattore di carico	Carico massimo in % del totale carico allacciato
Teatri di varietà . . .	245	32592	100265	904	15,2	56,3
Banche	100	9102	35334	304	16,1	66,8
Uffici pubblici	18	3152	6750	53	17,6	33,6
Chiese	15	3301	8274	92	12,4	56,0
Abitazioni	24177	328939	443530	8927	6,9	54,1
Ville	5151	189616	229753	4076	7,8	43,0
Hôtels	103	9072	22443	127	24,4	28,0
Ospitali	34	3290	6248	69	12,5	42,3
Fabbriche	1061	52129	94842	1397	9,5	53,5
Luoghi d'affari	3074	77230	163657	2482	9,2	64,2
Bureaux	1563	25529	39736	817	6,7	64,0
Restaurants	550	20846	92308	547	23,4	52,3
Bars	2060	50002	234771	157	20,8	62,6
Spacci tabacchi	226	5562	21924	180	16,8	64,7
Drogherie	833	17018	92809	671	19,3	78,8

Allegato *C.*

Natura dell'impianto	Fattore di carico in % riferito a 8760 ore	Massimo raggiunto in % del carico allacciato	Durata di utilizzazione del massimo per giorno
Latterie	20	60	4,8
Birrerie	45	60	10,8
Depositi ferramenta	20	60	4,8
Fabbriche biscotti .	35	55	8,4
Fabbriche scarpe .	25	65	6,0
Fonderie di bronzo.	28	50	6,7
Battirame	18	45	4,3
Lattonai	30	70	7,2
Fabbriche zucchero.	18	45	4,3
Fabbriche vestiti .	15	55	3,6
Grandi magazzini .	30	55	7,2
Installatori elettrotecnici	25	55	5,5
Case di spedizioni .	40	60	9,6
Laboratori di galvanoplastica . . .	25	75	6,0
Arti grafiche . . .	19	60	4,6
Fabbriche concimi .	75	40	18,0
Fabbriche mobili .	28	65	6,7
Fonderie	15	75	3,6
Fabbrerie	30	49	7,2
Elevatori di granaglie	10	75	2,4
Fabbriche guanti .	25	55	6,0
Negozianti coloniali	20	55	4,8
Gelaterie	45	75	10,8
Fabbriche galanterie	18	50	4,3
Grandi alberghi . .	50	40	12,0
Piccoli alberghi . .	35	50	8,4
Grandi clubs . . .	40	85	9,6
Grandi restaurants .	50	60	12,0

Natura dell'impianto	Fattore di carico in % riferito a 8760 ore	Massimo raggiunto in % del carico allacciato	Durata di utilizzazione del massimo per giorno
Piccoli restaurants	30	70	7,2
Lavanderie . . .	25	70	6,0
Fabbriche macchine	26	55	6,2
Giornali	20	75	4,8
Fabbric. imballaggi	30	75	7,2
Fabbriche colori .	23	45	5,5
Fabbriche di cartonaggi	25	50	6,0
Installatori gas e acqua	26	55	6,2
Posta pneumatica .	50	90	12,0
Uffici postali . .	50	30	12,0
Stazioni carica accumulatori . .	27	40	6,5
Impianti frigoriferi	50	90	12,0
Magazzini ferroviari	50	50	12,0
Segherie	30	55	4,8
Selezione semi . .	25	55	6,0
Fabbriche viti . .	30	75	7,2
Fabbriche lamiere.	18	70	4,3
Fabbriche saponi .	25	60	6,0
Drogherie . . .	20	55	4,8
Segherie di pietra.	17	55	4,2
Officine costruzioni metalliche . .	22	40	5,3
Filature e tessiture	20	65	4,8
Teatri	16	60	3,8
Fabbriche cordaggi	30	60	7,2
Fabbriche tessuti di lana	27	80	6,5
Falegnamerie . .	28	65	6,7

RÉSUMÉ

Pour résumer l'état actuel du problème de l'augmentation du facteur de charge dans les Centrales électriques, le Rapporteur a fait une enquête auprès des principales Centrales électriques de l'Europe et de l'Amérique.

Les résultats de cette enquête sont consignés dans le rapport. Il ressort que presque toutes les grandes Centrales se sont preoccupées de la question; une première solution partielle et de caractère général a été de procurer à l'usine tous les consommateurs d'énergie à grand facteur de charge, comme les tramwais et la force motrice de l'industrie.

En quelques endroits on a pu arriver à des résultats très satisfaisants avec l'élévation de l'eau potable dans des réservoirs de capacité convenable. L'exhaure de l'eau pendant la nuit seulement, pour l'irrigation, est particulièrement pratiqué.

Le Rapporteur, après avoir fait ressortir la difficulté de trouver des industries travaillant seulement la nuit, fait mention de quelques cas où la question a été résolue en partie.

A propos de l'emploi de l'énergie électrique pour les applications thermiques, le Rapporteur donne quelques renseignements sur des appareils où l'accumulation de la chaleur est possible; il passe ensuite en revue les avantages de l'emploi des accumulateurs électriques.

La question de l'amélioration du facteur de charge par des tarifs appropriés est ensuite envisagée; des détails sont donnés sur les résultats d'emploi d'un tarif multiple à Lausanne.

Le rapport contient enfin quelques considérations sur les installations d'accumulation hydraulique de l'énergie et quelques mots sur les accumulateurs de chaleur dans les grandes Centrales thermiques.



DISCUSSION

M. A. ARNÒ, président (Milan). — *Rémercie le prof. Sartori de son intéressante rélation, dont il passe en revue les points saillants. Il fait remarquer l'importance du problème du chauffage électrique.*

M. D. CIVITA (Milan). — *Se dit heureux d'avoir entendu la très belle relation du prof. Sartori dans laquelle les divers côtés du problème ont été observés et dans laquelle sont énumérés des principes et des applications d'une grande utilité pour les entreprises électriques. Il voit avec plaisir que le problème du chauffage électrique s'impose tous les jours davantage à l'attention des techniciens; celle-ci étant éveillée, il n'est pas douteux que de notables progrès seront réalisés, ainsi qu'il arrive toujours dans toutes les branches de l'industrie en pareil cas.*

En Italie, l'importance du problème se présente diversement suivant qu'on considère les installations hydro-électriques alpines ou celles des Apennins. Dans celles-là il y a minimum d'eau pendant l'hiver, mais des centrales à vapeur pourvoient au complément d'énergie nécessaire et, rélativement à la production hydraulique, on atteint des coëfficients d'utilisation très élevés. Dans les dernières il y a manque d'eau durant l'été, tandis que, pendant plusieurs mois de l'année, et surtout dans le cœur de l'hiver, il y a telle surabondance que, par simple augmentation du nombre de turbines, l'on pourrait utiliser et mettre à la disposition des clients durant les 24 heures de la journée et, notamment, pour servir au chauffage des locaux et appartements.

Mais, à présent, les nombreuses installations de la Haute Italie ont rendu disponibles de très grandes puissances et des centaines de milliers de KWH pourraient être utilisés dans les industries rappelées par M. Sartori; spécialement pour le chauffage. Il s'ensuit qu'en voulant vendre l'énergie pour cet usage, les graves difficultés relatives au problème des pointes hivernales *sont de beaucoup atténuées. Quant au prix de vente de cette énergie, on peut descendre à des limites très basses. Comme con-*

clusion, vu les conditions particulières de nôtre pays, nulle difficulté technique ou économique s'opposerait à la diffusion, sur une large échelle, des applications thermiques de l'énergie, s'il n'y avait une question préjudicielle à résoudre: celle de l'impôt qui grève le chauffage électrique domestique. L'ing. Civita explique de quelle manière a été appliqué l'impôt qui charge de 6 centimes le KWH, et comment les efforts de tous les Directeurs d'entreprises électriques tendent, à present, à obtenir son abolition ou sa réduction à un taux équitable.

METODI RAZIONALI

per la misura commerciale dell'energia elettrica.

Rapporto sul Tema N. 20 del Congresso.

Relatore Ing. Prof. GIAN-GIACOMO PONTI (Torino).

Lo studio è diviso in tre parti: nella prima si esamineranno i fattori principali, che, appunto perchè influenzano diversamente il costo dell'energia elettrica, devono venire considerati dal duplice punto di vista del produttore e del consumatore, allo scopo di poter derivare una formula di tarificazione conveniente. Nella seconda parte si passeranno in rassegna i metodi di misura comunemente adottati nei casi e contratti principali, accennando alle tendenze moderne per quanto riflette la presa in considerazione di certi fattori speciali proprii alla natura dell'energia fornita. Nell'ultima parte si richiameranno i principali istrumenti adottati nei vari casi, accennando alla legislazione adottata in tale materia dagli Stati più importanti.

PARTE I.

Ciò che preoccupa in modo speciale e principale l'elettrotecnico non è il problema tecnico relativo alla produzione e distribuzione dell'energia elettrica, bensì quello di adottare negli impianti tutti quegli accorgimenti fatti di preveggenza, di vigilanza e di studio, che valgono a garantire la continuità del servizio stesso. Questo è oggi più che una volta importante

perchè all'energia elettrica è affidata in ogni sua parte la vita moderna delle grandi città e delle grandi industrie, per molte delle quali un'interruzione può essere causa di gravi, incalcolabili danni. La risoluzione del problema della continuità porta, come logica conseguenza, un aumento non indifferente nelle spese di impianto e d'esercizio, di cui bisogna tenere debito conto.

Ciò premesso, è facile vedere che i fattori che influenzano in modo vario il costo dell'energia si possono raggruppare in una equazione di questa forma:

$$C = A + B\,Kw + C\,Kwo.$$

Il primo termine A è costituito da spese indipendenti dal carico, e comprende le tasse di varia natura, ammortamenti, interessi, assicurazioni, ecc. Il secondo B da spese dipendenti in qualche modo dal carico e dalla configurazione diagrammatica del carico stesso; in esso termine si possono pure conglobare tutte quelle spese relative al macchinario di riserva, agli impianti sussidiari, a quelli idrici, batterie di accumulatori in servizio di capacità, serbatoi idraulici, doppie palificazioni o doppie distribuzioni secondo che si tratta di linee o di reti primarie; anzi la preponderanza o meno di questo ultimo termine può dare un indizio preciso della bontà del servizio.

Il termine C si riferisce a quelle spese che sono direttamente collegate al costo di produzione, proporzionali ai Kwo prodotti ed erogati e riguardano in parte le spese vive di esercizio.

E sarà opportuno a questo punto subito dimostrare che sul valore del termine B ed anche del termine C hanno influenza diretta il *fattore di carico* ed il *fattore di diversità*, considerato il primo come il rapporto fra la potenza media e quella massima richiesta dalla centrale in un dato periodo di tempo. La sua definizione dimostra l'opportunità che esso per quanto possibile sia elevato, e come esso vari per ogni servizio colle stagioni, le abitudini delle popolazioni e colla natura del carico stesso. Esso si può solo migliorare combinando i diversi servizi e carichi aventi una richiesta massima in epoche ed ore diverse, aumentando il numero degli utenti ed utilizzando meglio l'impianto in ogni sua parte.

Uno studio fatto su 20 centrali di varia natura e capacità ha dimostrato che il fattore di carico oscilla fra il 26.6 ed il 33.2 con variazioni del 7 %; valori che di per sè indicano le diffi-

coltà proprie della vendita dell' energia elettrica dovute alla impossibilità di accumulare energia come se si trattasse di acqua o gaz, con conseguente necessità di lavorare in condizioni economiche assai cattive per dar modo alla produzione dell'energia di tener dietro alla richiesta. Una parziale per quanto efficace risoluzione del problema si sta ora ottenendo negli impianti idraulici colla costruzione dei serbatoi di accumulazione.

Dovrà quindi essere costante preoccupazione dell'industriale di preferire e favorire l'utente avente un carico che concorre nell'aumentare il fattore di carico della centrale, per modo che fra due utenti aventi un carico medio eguale, quello che utilizza l'energia per un periodo di tempo maggiore può avere diritto a maggiori facilitazioni economiche dell'altro, perchè per esso il costo del Kw-anno viene ad essere ripartito su un numero maggiore di ore. Ciò può anche ricavarsi dalla tabella dell'Holdin, basata sul costo di impianto per Kw-anno di L. 615 gravato da un tasso complessivo per interessi, ammortamenti, tasse, manutenzione, ecc., di circa L. 90 annue, pari al 14.4 %:

Durata giornaliera del carico — Centesimi per Kw-ora.

1	5	8	9	10	12	18	24
2.460	0.490	0.305	0.270	0.245	0.205	0.135	0.1025

Ora il fattore di carico è a sua volta grandemente influenzato dal *fattore di diversità*, inteso questo come il rapporto della somma delle massime richieste dei vari servizi alla richiesta massima attuale.

Esso varia per un dato impianto di distribuzione per forza e luce (caso più generale) da giorno a giorno nelle settimane e da mese e mese durante l'anno. Nei nostri impianti ha, per es., grande influenza su ciò, anche per rispetto alla riserva termica, la sovrapposizione della luce alla forza, che si inizia quasi matematicamente, salvo tolleranza di pochi giorni, verso il 15 ottobre. D'altra parte nelle zone di distribuzione con prevalente luce privata, la massima richiesta è alle 19 d'inverno e alle 20,30 d'estate: nelle zone identicamente adibite per l'illuminazione di uffici e distretti industriali la massima richiesta è invece verso le 17,30 e le 18. Il carico forza, per quanto più costante di quello luce, porta ad una massima richiesta nella mattinata verso le ore 10, mentre per condizioni analoghe nel pomeriggio

vi è sempre una minor richiesta oscillante fra il 10 ed il 15 %. Ne nasce che la massima richiesta dai vari trasformatori e distributori secondari è maggiore di quella dei " feeders „ ai quali sono riferiti; che la sommatoria delle massime richieste dei feeders è maggiore di quella avuta dalla sottostazione, mentre la sommatoria delle massime richieste di queste è maggior di quella della centrale.

L'importanza tecnica e commerciale del fattore di diversità sul fattore di carico e quindi sul costo di produzione si può meglio illustrare con un esempio:

Supponiamo una centrale che abbia una richiesta massima di 1500 Kw per carico elettrochimico, di 2000 Kw per carico forza, e 1600 per carico luce con un fattore di diversità nelle 24 ore di 2,55. In questo caso il fattore di carico supponendo nelle 24 ore un consumo di 39.800 Kwo, sarebbe:

$$\frac{39.800}{2000 \times 24} = 83\ \% \left(\text{essendo } 2000 = \frac{5100}{2,55}\right)$$

mentre se il fattore di diversità fosse stato di 1, il fattore di carico sarebbe disceso a:

$$\frac{39800}{5100 \times 24} = 32\ \%$$

Lo studio del fattore di diversità per le varie classi di consumatori ha quindi grande riflesso sull'economia dell'impianto e dell'esercizio; per cui, intervenendo esso nell'influenzare direttamente il costo dell'energia stessa, si dovrà caso per caso, utente per utente, studiare la questione ed applicare o scegliere come mezzi regolatori e moderatori le tariffe facenti capo alla categoria dei *forfait* oppure a quella a contatore.

Vediamo intanto di studiare le caratteristiche proprie dei due sistemi principali, perchè intorno ad essi s'imperniano molti altri sistemi misti, nei quali uno dei due è predominante.

PARTE II.

Indipendentemente dagli accorgimenti commerciali, che pure occorrono nella vendita dell'energia, nasce come logica conseguenza, che una prima divisione dovrebbe senz'altro riferirsi



alla natura del carico, tanto nei riguardi della centrale di produzione e distribuzione come in quelli dell'utente: secondo ciò si dovrebbe già fino dalle sbarre di distribuzione convogliare l'energia prodotta in tanti diversi circuiti corrispondenti alla diversa natura del carico, ed a questi circuiti applicare concetti diversi non solo di tarificazione, ma d'impianto; studiandoli cioè in modo anche da garantire ad ognuno la precedenza e continuità dei servizi a seconda dell'importanza che essi hanno.

Ma tale disposizione, mentre da una parte permetterebbe di seguire da vicino il reciproco comportarsi e spostarsi dei vari carichi anche per rispetto al tempo, porterebbe ad infinite complicazioni nella disposizione delle sbarre in centrale e nelle reti di distribuzione primarie e secondarie, con conseguenti aumenti nelle spese di esercizio annue corrispondenti ai tassi d'interesse, ammortamenti e manutenzione.

Tale disposizione, che è possibile solo in parte colle reti forza, luce privata e pubblica, tranviarie, ecc., o con carichi pesanti assai concentrati, se fosse attuabile su larga scala permetterebbe anche un'azione di selezione sui vari carichi; di togliere, ad esempio, dalle sbarre carichi che in certe ore porterebbero ad abbassare eccessivamente il fattore di diversità spostandoli nel tempo, per viceversa inserirli sulla rete in altri momenti.

Per quanto riguarda i rapporti coll'utente, esiste di fatto nelle tariffe una divisione netta, secondo che l'energia serve per produrre energia meccanica, luce e calore.

L'energia adibita a scopi di illuminazione è in generale valutata ad un prezzo superiore di quello usato per la forza.

La ragione sta nel fatto:

1° Che la quantità di energia adibita a forza motrice assurge a valori assai più importanti di quelli normali per la luce;

2° Le erogazioni per illuminazione sono assai meno regolari di quelle della forza, e spesso per far fronte ai periodi di sovrapposizione richiedono impianti termici di riserva abbondanti e costosi;

3° Il coefficiente di utilizzazione medio annuale per la forza può salire fino a 10 ore giornaliere, mentre per la luce (esclusa l'illuminazione pubblica) non arriva a due ore;

4° La delicatezza del servizio luce è assai maggiore, ed implica maggiori e più gravi responsabilità di quelle richieste dalle erogazioni forza.

Per quanto riguarda l'utilizzazione della luce negli impianti

industriali, che sono contemporaneamente utenti forza, si va generalizzando da molte Società l'uso di considerare la luce alla stessa stregua della forza, salva la maggiore applicazione delle tasse, oppure di far pagare allo stesso prezzo la luce prodotta con gruppo motore generatore, misurando l'energia sull'alta tensione.

I rapporti dell'energia elettrica adibita per impianti di riscaldamento sono già in molti paesi stati regolati in modo da formare tutto un nuovo ed importante ramo delle tecnologie elettriche: senza accennare al fatto che colla diffusione e l'opportuna regolazione di detto sistema si potrà assai fruttevolmente riempire, specialmente nelle ore notturne, i vuoti del diagramma aumentando di gran lunga il fattore di carico medio degli impianti. Certo però che l'energia elettrica per essere così impiegata deve essere venduta ad un prezzo ancora più basso di quello della forza motrice.

Teoricamente il metodo esatto di tarificazione dovrebbe tenere distintamente conto per ogni utente dei fattori costituenti l'equazione

$$C = A + B\,Kw + CKwo.$$

Infatti, siccome le spese vive di produzione sono proporzionali ai Kwo, per determinarle basterà semplicemente dividerle per i Kw-ora venduti.

Per poi accertare le spese fisse annue per ogni Kw. basterebbe (e qui sta la pratica difficoltà) dividere le spese fisse appartenenti ad ogni classe di servizio e di carico per i Kw massimi richiesti da quel servizio. Ciò darebbe per ogni carico il tasso annuale fisso per ogni Kw. di massima richiesta; il fattore di massima richiesta varia da 1,25 a 1,75 per luce, da 1,15 a 3 per forza. Quel valore diviso per il numero dei giorni dell'anno dà le tasse fisse giornaliere per ogni Kw. di massima richiesta; riducendole a tasse fisse orarie, conoscendo i limiti di tempo nei quali l'utente usa il suo impianto, si può ottenere il costo del Kw-ora.

Se un utente usa il suo impianto per un'ora al giorno e richiede 1 Kw., consuma 1 Kw-ora. Per cui il costo totale per Kw-ora per quell'utente risulterà dalla costante giornaliera od oraria fissa più le spese vive di produzione. Se sale a 2 ore al giorno, la tassa fissa per tenere disponibile quella massima richiesta è distribuita su due ore, e quindi il costo totale risulterà di due



termini, di cui uno è la somma di metà le tasse fisse annuali e l'altro le spese vive.

Si è voluto accennare a tale metodo, perchè già stato proposto e sostenuto da qualche tecnico nord-americano, per quanto esso sistema rappresenti la via sulla quale dovrebbero orientarsi gli studiosi per risolvere l'importante problema tecnico-economico.

Tuttavia in pratica i due metodi fondamentali di tarificazione sono *à forfait* ed a contatore, ed è intorno ad essi che si imperniano altri sistemi misti, che tengono conto dell'uno o dell'altro fattore proprio al circuito elettrico, alla natura della energia fornita ed agli scopi ai quali deve servire.

Il sistema *à forfait*, mentre presenta molti vantaggi negli inizi commerciali di un'azienda elettrica perchè coopera ad una rapida formazione del carico, non è più conveniente quando l'azienda sta completandosi e raggiungendo la sua massima potenzialità, perchè in allora si devono studiare ed escogitare tutti i mezzi per riempiere fruttevolmente i vuoti del diagramma: esso sistema concorre ad aumentare ed esagerare il terzo fattore costitutivo del prezzo dell'energia, per cui l'utente non è incoraggiato ad usare economicamente della energia che ha a disposizione, tanto più che il continuato consumo dell'energia è a tutto suo vantaggio, e non ha alcun riflesso economico sul suo bilancio di esercizio, se si eccettua un lieve maggior tasso annuo per il fondo rinnovo od ammortamento del macchinario trasformatore e motore.

Questo sistema parrebbe consigliabile per gli impianti idroelettrici, nei quali il costo presunto di energia è quasi indipendente dalla potenza sviluppata; ma la presenza di picchi sentiti proprii al sistema può essere nociva negli impianti idrici a serbatoio, nei quali deve essere utilizzata tutta l'acqua disponibile: con impianti a vapore è ovvio che il contratto *à forfait* è per principio poco conveniente.

Nei sistemi a contatore l'utente agisce in senso inverso al precedente, e tende cioè ad economizzare nel consumo.

Il difetto del sistema è dovuto al fatto che l'unità usata nella misura della energia elettrica, cioè il Kw-ora, è costituito dal consumo dell'energia media in Kw. moltiplicato per il periodo di consumo dell'energia stessa. Avremo quindi un infinito numero di valori dell'uno o dell'altro termine soddisfacenti alla equazione di una costante uguale al prodotto di due fattori fra loro variabili in modo qualunque.

Con tale sistema tutti gli utenti vengono a pagare ugualmente: risultano però subito le condizioni nelle quali si trova il fornitore, il quale deve pensare a provvedere gruppi da 100 Kw. e di 1 Kw., e comes i spostino i termini A, B, C nei vari casi.

Le condizioni di fornitura si spostano poi subito quando, ad esempio, rimanendo invariato il carico massimo, il numero dei Kw-ora assorbiti aumenta o diminuisce di una certa percentuale.

Se vi è un aumento ad esempio del 25 % nel caso di un impianto termico, dove le spese vive di produzione costituiscono il 25 % circa delle spese totali di produzione, ne deriva che l'aumento del costo di produzione dell'energia nei rapporti dell'azienda produttrice, per poter supplire questo eccesso di carico, è solo del $6\,^1/_4$ % del costo totale di operazione, mentre l'introito della vendita è aumentato proporzionalmente del 25 %. Viceversa una diminuzione del 25 % porta una minor spesa del $6\,^1/_4$ % circa.

Intorno ai due sistemi *à forfait* e contatore sono scaturiti molti vari altri metodi di tarificazione misti, i quali si occupano e preoccupano specialmente o del fattore di carico o di quello di diversità.

Molte aziende americane dividono senz'altro, specialmente per la luce, e ciò per rispetto al fattore di diversità, il carico " off peak " e " on the peak ". Il carico al picco è ancora suddiviso in commerciale, residenziale o privato; la richiesta dei carichi luce residenziali si ritiene del 50 % di quelli installati: i carichi misti si tassano in modo che, se predomina il carico al picco, non si considera nella tariffa di applicazione il carico fuori picco; se invece predomina il carico fuori picco, allora il carico al picco si tassa normalmente, mentre il carico fuori picco è determinato come differenza fra il carico fuori picco ed al picco.

Per forza si fanno contratti misti, e si mettono tariffe speciali per fattori di diversità superiori a certi valori: si applicano contatori differenziali, contatori a doppia tariffa, ad orario limitato, a massima richiesta, coi quali si cerca di favorire l'andamento dell'industria speciale dell'utente, pur avvantaggiando le condizioni di produzione della Società fornitrice. Da molte Società si è cercato di gravare con tassi elevati sul carico che, avendo carattere saltuario, presenta picchi elevati o si presenta nell'ora del picco della centrale: fu così che nell'industria ferroviaria, nell'industria metallurgica, ecc., per soddisfare a tali

esigenze vennero introdotti gruppi motori con volani aventi un GD^2 (G peso, D diametro) elevatissimo, e dotati di elevate proprietà compensatrici.

Tali sistemi influiscono anche ottimamente sull'esercizio delle centrali, perchè non danno più luogo ad eccessive oscillazioni del carico e tensione con conseguente perdita del passo, ecc., del macchinario sincrono eventualmente riferito alle sbarre.

I raggruppamenti principali riferentisi all'uno od all'altro sistema dopo quanto sopra esposto possono essere i seguenti, già accettati anche in un suo pregevole lavoro dal George.

Categoria a contatore.

1° *Tariffa a contatore che tiene conto della località di utilizzazione della energia.* — . . . Può riguardare i contratti speciali per negozi, scale, androni, motori per ascensori, gruppi motori dinamo per proiezioni cinematografiche o per la carica delle batterie di accumulatori, motori per caffè, ventilatori, ecc., ecc.

2° *Tariffa a contatore che tien conto della quantità dell'energia consumata.* — Questo si riferisce specialmente ai grossi utenti di forte consumo, pei quali si convengono tariffe decrescenti coi consumi. Questa forma di tariffa riguarda i contratti a *minimo garantito*, per i quali si impegnano certi utenti per avere riduzioni nei prezzi, i contratti a tariffa decrescente ed i contratti a compensazione.

3° *Tariffa a contatore che considera il numero delle ore di utilizzazione.* — Riguarda i clienti che hanno carico approssimativamente costante nelle 22 o 24 ore, e contribuiscono ad aumentare il fattore di carico dell'impianto stesso. Appartengono a questa categoria i carichi tranviari urbani, i carichi elettrochimici, i carichi per pompe adibite ad acquedotto in servizio pubblico, i servizi di illuminazione pubblica, ecc., che godono perciò di speciali vantaggi.

4° *Tariffa a contatore che considera l'ora nella quale si effettuano i consumi.* — È logico ammettere che i carichi che si presentano alle sbarre nelle ore fuori picco possono godere di maggiori facilitazioni di quelli che si presentano al picco o nelle

ore di sovrapposizione; d'altra parte devono essere trattati con speciali accorgimenti quegli utenti che si impegnano di usare l'energia solo nelle ore notturne, ecc., ecc.

Categoria *à forfait.*

Con questo modo di tarificazione il tasso da pagarsi dall'abbonato è fissato in precedenza basandosi sul carico installato; anche in questo caso il prezzo per Kw.-anno può subire volta a volta modificazioni secondo la località, durata ed ora del consumo.

Categoria mista.

Spesso la tariffa *à forfait* è applicata e stabilita specialmente in servizi tranviari interurbani sul carico medio, trattando invece colla tariffa a contatore le richieste accidentali al picco che superano il carico medio.

Infatti, quando si entra nel campo delle correnti alternate, entra in giuoco un fattore essenzialmente elettrico, il cos φ dipendente dal carico e dall'apparecchio elettrico collegato alla rete primaria di distribuzione. Nell'ordinaria pratica si stabilisce di regola una tariffa unica applicabile in modo uniforme a tutti gli impianti in cui il cos φ è superiore a un dato valor medio compreso fra cos $\varphi = 0,8$ e 0,85, mentre per impianti aventi cos $\varphi <$ si applicano coefficienti di correzione. Ora questa maggior tassazione è giustificabile; infatti se l'effetto utile che l'utente ricava è dovuto solo alla corrente in fase I cos φ, nulladimeno, per la stessa natura dell'apparecchio utilizzatore, l'impianto deve fornire anche la corrente in quadratura I sen φ, la quale, pure non facendo lavoro nell'apparecchio utilizzatore, non perciò può considerarsi come gratuita: essa difatti porta ad una maggior spesa di esercizio per la $>$ perdita per effetto Joule sulla linea e negli apparecchi di generazione, trasmissione e trasformazione, e per la $>$ spesa di eccitazione richiesta per compensare negli alternatori la caduta induttiva per reazione di indotto; aumentano insomma i Kwa dell'impianto.

Intorno a questo punto la questione è stata sollevata da molti, e molti hanno in vario modo tentato di risolvere esaurientemente la questione: ciò dimostra altresì che le Società non pos-

sono prescindere oggi nella tarificazione dal cos φ dell'impianto, perchè altrimenti esse, per ottenere il compenso della spesa corrispondente alla produzione della corrente in quadratura, dovrebbero aumentare i prezzi unitari con evidente ingiustizia distributiva.

Il sistema dell'Arnò basa la sua tariffa sulla formula:

$$^2/_3 \text{ V. I. } \cos \varphi + {}^1/_3 \text{ V. I.}$$

determinato questo valore in base ai dati di costo d'esercizio di un forte numero di centrali.

Questa quantità costituisce ciò che fu chiamato carico complesso. Ne deriva che, nel calcolo dell'energia secondo il carico complesso, il consumatore verrà a pagare per la corrente devattata fornitagli un aumento, che sarà proporzionale alla quantità della corrente di magnetizzazione, e cioè tanto maggiore quanto più piccolo è il fattore di potenza del suo impianto. Con questo sistema di computo la Società non viene ad essere danneggiata dai motori marcianti a vuoto o da motori a piccolo fattore di potenza; inoltre si rende inutile il controllo dei motori da parte della Società.

L'obbiezione rivolta alla formula del carico complesso per l'introduzione di una costante non rigorosa ha poco valore, perchè è facile dimostrare che esso termine entro forti variazioni non importa sensibili errori nella misura. Recentemente il sistema di tarificazione Arnò è stato accettato ed adottato da molte importanti Società esercenti italiane ed estere.

Parte III.

I vari tipi di misuratore della energia elettrica, indipendentemente dalla bontà propria al loro modo speciale di costruzione, debbono nei riguardi della compra-vendita dell'energia presentarsi economici ed esatti.

Per molti clienti, specialmente per quelli luce, il problema del tasso annuo del contatore ha un'importanza grandissima, potendo rappresentare in molti casi il 20 % della spesa annuale dell'energia: è per questo che in impianti di tale natura vi è tendenza ad ottenere dai costruttori dei contatori, che, pur avendo

basso prezzo abbiano una lunga durata, il che permette di applicare loro un tasso di ammortamento meno elevato che si risolve a tutto vantaggio dell'utente. Per questa ragione si giustificano gli sforzi dei costruttori nel produrre un tipo di contatore-amperometro che possa identicamente risolvere il problema, scevro degli inconvenienti che esso tipo ha fin qui avuto.

Sufficientemente giustificata l'adozione di un sistema wattometrico unico nel caso di contatori da inserirsi su circuiti a carico equilibrato: sempre consigliabile il contatore con 2 wattometri nel caso di carico squilibrato trifase o 3 wattometri nel caso identico ma con filo neutro.

L'esattezza delle indicazioni dei contatori ha pure un'importanza enorme e prima di ogni altra cosa deve essere controllata dalle Società esercenti.

Dalla scrupolosità delle loro indicazioni dipende è vero il consuntivo della azienda, ma dipende altresì quella norma di onestà, che, se penetrata nel pubblico acquirente, si risolve in definitiva a tutto vantaggio della Società stessa. Per questo è lodevole il concetto che tutte le principali Società distributrici abbiano un laboratorio di rigoroso controllo per tutti i misuratori da installarsi e per quelli che a dati intervalli devono essere tarati. Molte Società esercenti per i contatori a corrente continua con commutatore, oltre la verifica prima della posa, ne fanno un'altra qualche settimana dopo la posa, nel qual tempo si ritiene che il commutatore abbia raggiunto le condizioni di regime.

Per carichi assai importanti è buona regola mettere due contatori o in serie, e in questo caso uno fa da riserva e da controllo, oppure in parallelo l'uno all'altro, e uno fa da completa riserva.

Nelle migliori Società è entrato ormai il concetto di dare soddisfazione all'utente facendo frequente controllo al contatore in posto, ovviando così all'obbiezione che il contatore per quanto tarato esattamente nella sola prova può venire danneggiato nel trasporto o durante le operazioni di montaggio. Questi controlli secondo le informazioni avute, come media, si fanno da 6 a 12 mesi per i contatori a corrente continua, da 12 a 18 mesi per quelli a corrente alternata del tipo ad induzione.

Recentemente sono stati introdotti dalle Compagnie nord-americane allo scopo di anche meglio convincere l'utente sulla bontà delle misure fatte i cosidetti *rotating standars*, i quali altro non sono che contatori uguali a quelli normalmente in servizio aventi

dei campi variabili da 1 a 100 ampères: essi sono rigorosamente tarati in laboratorio: le prove si fanno a pieno carico del contatore, a carico normale ed a carico basso; per ogni prova si combina la bobina di campo dell'istrumento campione. L'operazione è assai facile; si tratta cioè di determinare il numero e frazione dei giri del campione ed identicamente quello del contatore dell'utente.

Molte Società hanno poi introdotti svariati dettagli per rendere maggiormente interessante e rigoroso il controllo.

Il carico normale è una percentuale del pieno carico del contatore; è del 25 % per appartamenti, del 40 % o 60 % per ascensori, ristoranti e negozi pubblici 70 %, illuminazione di *réclame* 100 %.

La *media percentuale di accuratezza* del contatore si ottiene dando il valore di 3 alla percentuale di accuratezza determinata col valore normale, ed il valore di 1 a quella determinata a pieno carico dell'apparecchio e a carico basso.

Questo sistema è assai encomiabile e dovrebbe essere adottato anche in Europa.

I varî paesi hanno adottate norme o regolamenti speciali riguardanti gli apparecchi di misura dell'energia elettrica allo scopo di disciplinare i rapporti fra Società fornitrici ed utenti. Tali provvedimenti in certi Stati rivestono il carattere di una vera e propria legislazione, come in Germania, Austria e Spagna; in altri sono più specialmente semplici disposizioni, non sempre obbligatorie, atte a definire i punti di possibile disaccordo e a dirimere le eventuali questioni fra produttore e consumatore senza diretto carattere di fiscalità.

Se l'ingerenza dello Stato in materia elettrometrica è desiderabile ed approvevole in quanto l'intervento ufficiale, data l'autorità del Governo, può offrire una maniera più efficace e decisiva per evitare dibattiti od appianare divergenze, è però discutibile, qualora oltrepassi quei limiti che dovrebbero esserle logicamente assegnati.

L'approvazione preventiva del tipo di misuratore e la verifica preliminare ufficiale per l'ammissione di un nuovo sistema, mentre non costituiscono un provvedimento di carattere completo, giacchè non tengono calcolo della attitudine dell'apparecchio alla inalterabilità delle condizioni iniziali col tempo e coll'uso, possono riuscire pregiudizievoli al libero svolgersi dell'industria eliminando per la severità della prova tipi, che lasciati

in libero uso, alla critica dell'utente, potrebbero con graduale perfezionamento mostrarsi superiori ai tipi accettati ed in servizio corrente.

La piombatura o bollatura dei misuratori, dovrebbe presupporre la conseguente inalterabilità dello strumento; questo invece ad operazione compiuta può essere intenzionalmente alterato e spontaneamente alterarsi.

L'esame preventivo per l'ammissibilità di nuovi tipi di misuratori è imposto in Austria, Spagna, Germania e Belgio; le stesse legislazioni prescrivono la taratura ufficiale degli apparecchi.

La legge austriaca definisce la costante di un contatore come la media aritmetica dei tre fattori per cui devono moltiplicarsi le indicazioni dell'apparecchio ottenute facendolo funzionare ai tre carichi corrispondenti ad $^1/_{10}$, $^1/_2$, $^1/_1$ del pieno carico. Analoga definizione fu proposta dalla Commissione eletta dal Governo italiano per lo studio della questione delle misure elettriche e misuratori nella sua Relazione del Giugno 1907. Il regolamento della " Board of Trade " inglese stabilisce che i carichi a considerarsi siano rispettivamente $^1/_5$, $^1/_2$, $^4/_5$ del massimo.

Riguardo ai limiti di tolleranza, la legislazione tedesca prescrive che per i contatori a corrente continua e per tutti i carichi compresi fra un massimo ed $^1/_{10}$ del massimo, l'errore nella indicazione del contatore non sia superiore ai 6 ‰ del massimo carico aumentato di 6 % del carico effettivo. Per un carico eguale ad $^1/_{25}$ del massimo, l'errore non deve superare i 2 % del massimo. Questo pei misuratori in servizio; per quelli ad approvarsi i limiti di tolleranza sono ridotti a metà. La Commissione italiana suddetta ha proposto che per tutti i carichi fra un massimo ed $^1/_{25}$ del massimo, la differenza fra le costanti parziali e la adottata non superi i $^4/_{1000}$ del carico massimo più i $^4/_{100}$ del carico effettivo. Pertanto, mentre la legge tedesca ammette nei contatori che funzionano al 4 % del carico un errore del 50 %, le proposte della Commissione italiana ammettono nelle stesse condizioni di carico un errore di solo il 14 %, valore forse troppo piccolo.

La costante media del contatore non deve differire da quella indicata di più che il 4 % secondo la legge austriaca, che il 4,5 ÷ 6 % secondo la legge spagnuola e che il 3 % secondo le conclusioni della Commissione italiana. Queste prescrizioni si riferiscono ai misuratori in servizio. A tal uopo è opportuno

notare che la Commissione italiana ha emesso il parere che i misuratori abbiano per ora ad essere sottratti al vincolo dell'approvazione preventiva del tipo e della verifica obbligatoria da parte dello Stato.

La indicazione a vuoto dei misuratori non deve superare $^1/_{5000}$ del valore normale per l'ammissibilità di nuovi tipi ed $^1/_{1000}$ dello stesso valore pei sistemi ammessi, secondo la legislazione dell'Austria; i $^5/_{1000}$ del valore normale pei contatori in servizio e i $^{2,5}/_{1000}$ pei contatori alle prove di certificazione, secondo la legge tedesca. Le proposte della Commissione italiana sono che la indicazione a carico esterno nullo non oltrepassi i $^4/_{1000}$ del valore normale. Secondo la U. E. Svizzeri e la legislazione spagnuola la indicazione a vuoto dello strumento deve essere zero.

In Austria è prescritto che la minima corrente di avviamento sia il 2 % della normale per correnti $\leq$ 3 amp. e l'1.5 % per correnti maggiori. La prescrizione svizzera è che i misuratori rispettivamente di 5, 20, 50 ettowat devono avviarsi al 3, 2, 1 % del massimo carico.

In quanto alla frequenza delle visite, l'intervallo fra le verifiche obbligatorie è in Austria di cinque anni. In Francia il *Bulletin des Usines électriques* stabilisce che le revisioni si facciano con intervalli da due mesi ad un anno.

Come per le altre disposizioni, specialmente per questa, le cifre stabilite nelle varie nazioni non sono troppo concordi.

RÉSUMÉ

L'Auteur énumère les facteurs qui concourent à établir le prix de l'énergie électrique; il détaille les caractéristiques de plusieurs formes de production de l'énergie électrique suivant la nature du charge aux barres de distribution.

Après avoir établi l'importance du facteur de charge annuel, il touche à la nécessité de développer et d'encourager davantage les demandes des consommateurs de manière à atteindre des valeurs élevées du facteur de charge lui-même; on voit ainsi l'opportunité de rédiger plusieurs formes de contrats et d'appliquer des méthodes et des appareils spéciaux aux différents cas.

Après avoir mentionné et énuméré les appareils le plus généralement adoptés et le plus ordinairement installés, l'Auteur touche aux caractéristiques électriques et mécaniques auxquelles les dits appareils enregistreurs et compteurs d'énergie électrique devraient satisfaire, aux erreurs auxquelles ils sont sujets aussi bien qu'aux inconvénients qui en dérivent.

Il passe ensuite à l'examen rapid des lois et dispositions en vigueur dans quelques Nations, les plus importantes en matière de tarifications; et il formule quelques desiderata au sujet de certains projets qui, convenablement coordonnés, pourraient être fort avantageux pour les producteurs comme pour les consommateurs.

L'Auteur achève sa communication en faisant ressortir l'importance acquise dans ces derniers temps par les systèmes de tarification (p. ex. celui de Mr. le Professeur Arnò) et qui tiennent compte de la valeur du facteur de charge.

Di una soluzione del problema della compra-vendita dell'energia elettrica.(*)(**)

Prof. RICCARDO ARNÒ (Milano).

Il controllo di quanto viene effettivamente fornito, nelle ordinarie installazioni a corrente alternata, dalla Società di esercizio all'Utente, e quindi di quanto effettivamente questi consuma nel suo impianto, oggi si effettua per mezzo degli ordinari contatori (apparecchi integratori rispetto al tempo della potenza reale); oppure ricorrendo all'impiego di amperometri registratori.

Nel primo caso quindi sempre si presuppone che la spesa incontrata dalla Società per alimentare presso l'Utente un certo numero di apparecchi utilizzatori, sia proporzionale alla energia elettrica fornita dalla Società all'Utente; od in altri termini, si trascura affatto la variazione del fattore di potenza, per modo che la Società deve necessariamente rivalersi, con un aumento della tariffa, del danno che alla Società stessa deriverebbe per il fatto di avere del tutto trascurata, con l'effettuata misura, la corrente di magnetizzazione assorbita dai varii impianti.

Gli è ben vero che la corrente di magnetizzazione è spostata di fase di 90° rispetto alla differenza di potenziale, e che essa

(*) Questo sistema di misura industriale è brevettato nei principali Stati d'Europa e d'America.

(**) Vedi Comunicazioni fatte alla Associaz. Elettrotecnica Italiana: XIII Congresso in Brescia (29 settembre 1909); Sezione di Milano (3 dicembre 1909 e 19 aprile 1910); Sezione di Torino (28 maggio 1910). — " L'Elettricista ", vol. IX, n. 19, 1910. — " La Lumière Électrique ", 15 aprile 1911.



è in conseguenza una corrente oziosa, che non fa lavoro nell'apparecchio utilizzatore. Ma è pur non meno vero che tale corrente è necessaria all'Utente, ed è da esso richiesta, allorquando egli installa nel suo impianto apparecchi induttivi; e che essa non può essere considerata come gratuita, in quanto che porta ad una maggiore spesa di esercizio per la maggiore perdita per effetto Joule nella linea e in tutti gli apparecchi di generazione e trasformazione della corrente, e per la maggiore spesa di eccitazione richiesta, per compensare negli alternatori la caduta induttiva per la reazione di indotto: essa inoltre obbliga ancora ad una maggiore spesa di impianto per il corrispondente aumento della capacità del macchinario, che, come è noto, essendo limitata solo dalle condizioni di riscaldamento, viene espressa in kilovoltampère.

In conclusione, col metodo della misura diretta dei kilowattore, si viene — in causa dell'aumento dei prezzi unitarii, che si rende necessario affinchè le Società di distribuzione possano ottenere il compenso della spesa, corrispondente alla corrente in quadratura — a far pagare tale corrente uniformemente a tutti gli Utenti: ciò che non è soltanto ingiusto, ma è addirittura assurdo.

Preoccupate di tali anormalità che necessariamente si presentano ricorrendo, per la misura dell'energia elettrica, all'impiego degli ordinari contatori, molte Società di distribuzione hanno pensato di stabilire un nuovo metodo di misura, nel quale si tenga ancora conto della spesa inerente alla corrente di magnetizzazione, mediante un adeguato aumento di tariffa, ma ciò in modo da favorire nella tariffícazione il Cliente che ha un fattore di potenza relativamente elevato, rispetto a quegli che ha un fattore di potenza relativamente basso.

In altri termini, con questo metodo si integra ancora la potenza reale, ma però con la supposizione che nell'impianto che si considera si abbia un fattore di potenza costante, e precisamente quello che corrisponde al fattore di potenza medio in una installazione di forza motrice.

Un tale metodo di misura è evidentemente ancora ingiusto, per quanto riguarda i singoli Utenti in rapporto con la Società di distribuzione, ma il difetto del metodo stesso è per lo meno in senso equo, in quanto favorisce l'Utente che ha un impianto a fattore di potenza elevato, rispetto a quegli che ha un impianto in cattive condizioni a tale riguardo.

Nell'ordinaria pratica tecnica si stabilisce di regola una tariffa media applicabile in modo uniforme a tutti gli impianti in cui il fattore di potenza è superiore a dato valore contrattuale prestabilito; mentre per impianti in cui il fattore di potenza abbia valori minori, la tassazione si fa in base ai kilovoltampère moltiplicati per detto valore prestabilito.

Un sistema di questa natura presenta parecchi inconvenienti: obbliga a numerosi apparecchi di controllo ed alla corrispondente maggiore spesa, inoltre permette bensì di tenere conto del valore medio del fattore di potenza, ma non delle sue variazioni col variare delle condizioni dell'impianto.

Infine in tale metodo, la misura e tariffcazione dell'energia elettrica si fa indirettamente dal computo del prodotto degli ampère-ora, ricavati per mezzo di un amperometro registratore, per la tensione della rete, ritenuta costante: ciò che potrebbe tornare a grave danno dell'Utente, il quale, in corrispondenza delle stesse condizioni di funzionamento del suo impianto, per un abbassamento della tensione oltre il valore normale, vedrebbe crescere notevolmente l' intensità della corrente nel suo impianto, e quindi la spesa inerente alla fornitura dell'energia per parte della Società nell'impianto stesso.

Si presenta quindi il problema di grande importanza tecnica, e cioè di stabilire come si possa, nel fissare le basi di tariffcazione, tenere esatto conto del fattore di potenza.

La potenza reale, di cui oggi soltanto si tiene conto nella misura dell'energia elettrica, ha per espressione:

$$P_r = V \, . \, I \, . \cos \varphi ,$$

ove V ed I sono rispettivamente i valori efficaci della differenza di potenziale e della intensità di corrente, e φ il valore angolare dello spostamento di fase fra V ed I.

La potenza apparente è:

$$P_a = V \, . \, I \, .$$

Se ora si considera che la maggiore capacità del macchinario e la maggiore perdita Joule nell'impianto dipendono dalla differenza tra la corrente totale I e la corrente utile $I \cos \varphi$, mentre la maggiore caduta di tensione nel macchinario e la conse-

guente maggiore spesa di eccitazione dipendono dalla corrente in quadratura I sen φ, appare evidente che in un sistema razionale di tariffficazione, l'elemento sul quale si deve basare la tassazione dovrebbe venire costituito di tre termini, cioè della potenza reale $V.I.\cos\varphi$, di una conveniente frazione $\frac{I}{n}$ della differenza $V.I. - V.I\cos\varphi = V.I(1 - \cos\varphi)$ fra la potenza apparente e la potenza reale, e infine di una frazione della parte VI sen φ della potenza apparente, che corrisponde alla corrente in quadratura. Per potere applicare ai tre termini un prezzo unitario unico, dovranno i divisori dei due ultimi termini venire determinati per modo da tenere debito conto della ragione in cui i vari elementi della spesa di ammortamento e interesse relativa al costo dell'impianto, e di esercizio dell'impianto stesso, dipendono dai tre prodotti $V.I.\cos\varphi$; $V.I.(1 - \cos\varphi)$ e $V.I.\text{sen}\,\varphi$.

Ciò posto, si può subito osservare che nella pratica industriale si può trascurare il termine in $V.I.\text{sen}\,\varphi$, perchè la maggiore spesa di eccitazione ha influenza minima ed affatto trascurabile sul prezzo di costo [1].

Onde a base di tariffficazione si dovrà quindi assumere:

$$C = V.I.\cos\varphi + \frac{VI(I - \cos\varphi)}{n} = V.I.\frac{1 + (n-1)\cos\varphi}{n},$$

e cioè ancora:

$$C = \frac{n-1}{n} V.I.\cos\varphi + \frac{I}{n} V.I = \frac{n-1}{n} P_r + \frac{I}{n} P_a,$$

ciò che ho denominato *Carico complesso.*

Ne consegue dunque che il carico complesso, la cui misura si deve prendere siccome base per la tariffficazione dell'energia elet-

---

(1) Queste considerazioni pongono in evidenza in quali gravi errori erano incorsi quei tecnici, i quali — con lo scopo di proporre una soluzione del problema della tariffficazione dell'energia negli impianti a corrente alternata — si erano basati, nei loro studi e tentativi, sulla misura della somma della potenza reale $V.I.\cos\varphi$ e di una data frazione dell'altra componente $V.I.\text{sen}\,\varphi$ della potenza apparente.

trica negli impianti a corrente alternata, è rappresentato da una determinata frazione $\frac{1}{n}$ del numero dei voltampère, più la frazione $\frac{n-1}{n}$ del numero dei watt corrispondenti.

Con la misura della potenza reale P_r si trascura affatto, nella tariffìcazione dell'energia elettrica, la corrente di magnetizzazione; con la misura della potenza apparente P_a si terrebbe invece nel medesimo conto, per quanto riguarda il relativo prezzo di costo, tanto della corrente in fase quanto della corrente in quadratura. Il carico complesso $C = \frac{n-1}{n} P_r + \frac{1}{n} P_a$ rimane dunque evidentemente compreso fra la potenza apparente P_a e la potenza reale P_r: e precisamente il valore del coefficiente n, che figura nella espressione del carico complesso, risulta necessariamente compreso fra 1 ed ∞.

Per $n = 1$ la detta espressione si riduce infatti alla

$$P_a = V \,.\, I \,;$$

e per $n = \infty$ l'espressione stessa si riduce invece alla

$$P_r = V \,.\, I \cos \varphi \,.$$

Onde gli è che, nel metodo basato sulla misura dei voltampère, che ho poc'anzi ricordato, si assume come coefficiente contrattuale prestabilito un valore K inferiore ad 1 (per $K = 1$ si avrebbe la potenza apparente), e maggiore del fattore di potenza medio di un ordinario impianto per forza motrice (per $K = \cos \varphi_{medio}$ si avrebbe la potenza reale calcolata in base al fattore di potenza media dell'impianto).

Ora appunto nell'ordinaria pratica tecnica si assume il valore di K compreso fra 0,84 e 0,80 (valore medio di $K = 0{,}82$).

Per giudicare del modo assennato con cui le Società hanno stabilito tale coefficiente, occorre anzitutto procedere ad una definizione pratica del fattore di potenza medio in un ordinario impianto per forza motrice.

Nella ordinaria pratica industriale, i limiti tra cui può variare il fattore di potenza nelle installazioni di forza, sono i seguenti:

Valore massimo possibile di $\cos \varphi = 0{,}95$.
Valore minimo ammissibile di $\cos \varphi = 0{,}50$.

Si può dunque assumere come

$$\cos \varphi_{\text{medio}} = \frac{0{,}95 + 0{,}50}{2} = 0{,}73.$$

È da osservarsi che per tale valore del fattore di potenza media, corrispondente ad uno spostamento di fase di circa 45°, è possibile di dare una definizione razionale ed intuitiva, dicendo: *Il fattore di potenza medio in un impianto di forza motrice corrisponde a questa condizione che, nell'impianto, la corrente in quadratura o di magnetizzazione sia approssimativamente uguale alla corrente in fase o di lavoro consumata per il funzionamento dell'impianto stesso.*

Ciò posto, consideriamo appunto il carico complesso che corrisponde al detto $\cos\varphi$ medio $= 0{,}73$ (*carico complesso medio*):

$$C_{\text{medio}} = V \, . \, I \, \frac{1 + (n-1)\cos\varphi_{\text{medio}}}{n} = V \, . \, I \, \frac{1 + (n-1) \times 0{,}73}{n},$$

di dove, ponendo:

$$K = \frac{1 + (n-1) \times 0{,}73}{n} = \frac{0{,}27}{n} + 0{,}73,$$

oppure:

$$n = \frac{0{,}27}{K - 0{,}73},$$

si ricava:

$$C_{\text{medio}} = K \, . \, V \, . \, I \, .$$

Ma d'altra parte, l'espressione K . V . I — di cui ora noi appunto ci rendiamo esatto conto del significato fisico, in quanto che noi troviamo che essa rappresenta precisamente il carico complesso medio di una installazione di forza — è anche quella che serve di base, come più sopra è stato detto, alla tariffìcazione fatta col metodo dei voltampère moltiplicati per il coefficiente contrattuale prestabilito $K = 0{,}84 \div 0{,}80$ (valore medio di $K = 0{,}82$).

Senza introdurre dunque nessun nuovo coefficiente, nessuna

nuova costante dedotta sopra dati relativi ad impianti esistenti, per la quale si potrebbe obbiettare non esservi ancora la sanzione della pratica, io non faccio che assumere il valore medio di $K = 0{,}82$, già adottato nella ordinaria pratica industriale ed oramai accettato per unanime consenso da tutti gli elettrotecnici, ed in base a tale valore scrivo:

$$C_{medio} = 0{,}82\ V \,.\, I,$$

$$n = \frac{0{,}27}{0{,}82 - 0{,}73} = 3\,.$$

Nel caso in cui, invece del valore medio di $K = 0{,}82$, si volessero prendere a considerare i valori limiti di K rispettivamente uguali a 0,84 e 0,80, allora si scriverebbe:

$$C_{medio} = (0{,}84 \div 0{,}80)\ V \,.\, I,$$

$$n = \frac{0{,}27}{0{,}84 - 0{,}73} \div \frac{0{,}27}{0{,}80 - 0{,}73} = 2{,}5 \div 3{,}9\,.$$

Ora appunto nella pratica industriale sempre accade che n è maggiore di 2 e minore di 4: e si può anzi dire che ordinariamente n varia fra i limiti 2,5 e 3,5, e che il suo valore medio è uguale a 3. Questo studio industriale delle pratiche variazioni e dei possibili valori limiti di n, è stato fatto, con somma sapienza tecnica e con la massima accuratezza, dall'egregio ingegnere Ettore Conti, al quale mi è grato ripetere ancora in questa Sede le mie più vive azioni di grazie per la squisita cortesia con cui egli si compiacque potentemente coadiuvarmi nell'opera mia.

Risulta dunque, da tutte le considerazioni fatte — sia quelle riguardanti il coefficiente già usato in pratica nella misura e tariffìcazione col metodo dei voltampère, sia quelle fatte direttamente in base a speciali studi sopra importanti impianti esistenti —, come siano conformi al vero, per gli ordinari impianti a corrente alternata, i valori di n ai quali si informano i miei metodi ed apparecchi di misura del carico complesso, nonchè tutti i relativi calcoli dimostrativi esposti nelle mie precedenti Comunicazioni; e come inoltre le piccole oscillazioni di n (comprese fra 2,5 e 3,5), che si possono verificare nella

ordinaria pratica industriale, non abbiano influenza sensibile sulle applicazioni dei nuovi metodi di misura: dette oscillazioni del valore di n corrispondendo alle oscillazioni fra circa 0,84 e circa 0,81 del coefficiente medio contrattuale già oggi in uso nel metodo di tariffìcazione dell'energia elettrica basato sulla misura dei voltampère.

D'altra parte, tutto ciò è ancora a conferma dei giusti criteri e delle esatte deduzioni empiriche, che le Società hanno fatte — con lo scopo di corrispondere economicamente ad un risultato commerciale soddisfacente —, basandosi sulla media dei rilievi diretti eseguiti sui singoli impianti degli Utenti. Ma i risultati di queste deduzioni vengono ora applicati globalmente a tutti gli Utenti, senza distinzione dei differenti modi di utilizzazione dei propri impianti: e quindi — se potrà anche essere abbastanza esatto il risultato finale per le Società (le quali in sostanza oggi già misurano per loro conto la media dei carichi complessi) — non lo è altrettanto per gli Utenti, ai quali si arriva ad imporre un $\cos\varphi$ uniforme, mentre essi hanno in generale utilizzazioni assai differenti l'una dall'altra.

Concludendo, possiamo proporci una definizione precisa e pratica del carico complesso.

Il valore medio del coefficiente contrattuale K, prestabilito nella misura dell'energia elettrica eseguita sulla base del suo prodotto per i voltampère, è 0,82. A questo valore medio di K corrisponde, nella misura del carico complesso, il valore medio di $n = 3$. Ma, d'altra parte, questo valore di $n = 3$ è ancora quello medio fra i valori limiti di n, che si presentano come possibili nei vari casi degli ordinari impianti industriali, e che furono direttamente dedotti da pratiche considerazioni e accuratissimi studi su molteplici importantissimi impianti esistenti.

Dunque il valore medio del coefficiente $n = 3$ è certamente quello che, sotto tutti i punti di vista, e, in ogni caso, più si avvicina al valore che esso ha effettivamente nella ordinaria pratica industriale. Ora qui, trattandosi di risolvere un problema di ingegneria, noi siamo quindi non solo autorizzati, ma portati — senza che possa più essere ammessa a tale riguardo alcuna ulteriore discussione — a definire il carico complesso siccome dato dalla formola:

$$C = V \cdot I \frac{1 + 2\cos\varphi}{3} = \frac{2}{3} V \cdot I \cdot \cos\varphi + \frac{1}{3} V \cdot I = \frac{2}{3} P_v + \frac{1}{3} P_a .$$

Possiamo dunque enunciare che:

Il carico complesso è uguale alla somma di due terzi della potenza reale e di un terzo della potenza apparente.

Oppure, si può ancora dire:

Il carico complesso è rappresentato dalla somma di due terzi dei watt e di un terzo dei voltampère.

Ora i *nuovi metodi ed apparecchi di misura industriale*, che ho ampiamente e dettagliatamente descritti nelle mie precedenti Comunicazioni fatte alla Associazione Elettrotecnica Italiana, e *che si applicano tanto in impianti a corrente alternata semplice quanto in impianti trifasi, hanno appunto per scopo di fornire la somma di $\frac{2}{3}$ della potenza reale e di $\frac{1}{3}$ della potenza apparente.* E precisamente tali metodi ed apparecchi di misura hanno per scopo di tenere conto in modo praticamente esatto, nella misura dell'energia elettrica, oltre che della potenza reale, anche del modo di utilizzazione dell'energia stessa; di tenere cioè nel voluto conto, avuto riguardo alle effettive pratiche proporzioni di costo, tanto della corrente utile, quanto della corrente di magnetizzazione: ciò che ho chiamato *carico complesso.*

Per l'applicazione della formola fondamentale alla costruzione dei misuratori industriali del carico complesso, occorre anzitutto distinguere le due grandi categorie di impianti, e cioè:

Impianti per illuminazione, pei quali si considera il fattore di potenza variabile da 1 a 0,8, poichè in tali impianti si suppongono inseriti, oltre a lampade ad incandescenza, anche trasformatori riduttori per lampade a filamento metallico, ventilatori, piccoli motori, apparecchi medicali, apparecchi per riscaldamento, lampade ad arco, ed in generale apparecchi a carico induttivo per uso domestico;

Impianti per forza motrice, pei quali si considera il fattore di potenza variabile fra 0,92 e 0,5, come succede nell'ordinaria pratica delle applicazioni industriali della forza motrice.

Ora, incominciando a considerare il caso di impianti a corrente alternata semplice, io ho trovato che la misura del ca-

rico complesso: $\frac{2}{3} P_v + \frac{1}{3} P_a$, si può effettuare con sufficiente pratica esattezza mediante un ordinario contatore, sia esso elettrodinamico o a induzione, alla sola condizione che venga convenientemente modificato lo spostamento di fase ψ del flusso voltometrico rispetto alla differenza di potenziale fra le estremità del circuito voltometrico.

Nel caso dei contatori ordinari, detto spostamento di fase è, come è ben noto, rispettivamente di 0° e di 90°, a seconda che si tratta di apparecchi elettrodinamici a induzione. Orbene, nel caso, invece, dei misuratori del carico complesso, i valori di ψ sono i seguenti specifici e caratteristici, rispettivamente per i due singoli casi di luce e forza:

luce ($\cos\varphi = 1 \div 0{,}8$)	apparecchi elettrodinamici	$\psi = 5°$
	„ a induzione	$\psi = 95°$
forza ($\cos\varphi = 0{,}92 \div 0{,}5$)	apparecchi elettrodinamici	$\psi = 14°$
	„ a induzione	$\psi = 104°$.

Passando ora a considerare il caso di impianti di forza trifasi dissimmetricamente carichi, io ho trovato ancora che la misura del carico complesso si può effettuare con sufficiente pratica esattezza mediante due ordinari contatori, siano essi elettrodinamici o a induzione, alle sole condizioni:

1° che mentre lo spostamento di fase ψ rimane inalterato per l'uno dei due apparecchi, esso venga convenientemente modificato per l'altro apparecchio: e precisamente portato da 0° a 30° se si tratta di apparecchi elettrodinamici, ridotto da 90° a 60° nel caso di apparecchi a induzione;

2° che, trattandosi di apparecchi elettrodinamici, essi vengano inseriti nel sistema trifase col metodo ordinario dei due contatori; e che, trattandosi di apparecchi a induzione, essi vengano ambedue inseriti nello stesso modo nel sistema trifase, e cioè utilizzando per ciascuno di essi una differenza di potenziale concatenata in ritardo di fase di 30°.

Ed è interessante osservare che — come è ampiamente dimostrato nelle complete trattazioni teorico-pratiche dei miei nuovi metodi di misura, e relative tabelle dimostrative, con gli spostamenti di fase sopra specificati, e le relative inserzioni di cui si è detto — per n inferiore a 3 ($n = 2{,}5$) i massimi errori —



pur sempre relativamente molto piccoli e quindi assolutamente trascurabili nella ordinaria pratica industriale — sono negativi, mentre che invece per n superiore a 3 ($n = 3{,}5$) i massimi errori sono positivi: e ciò tanto nel caso della misura del carico complesso in impianti a corrente alternata semplice, quanto nel caso della misura stessa in impianti trifasi.

Ora evidentemente il caso di n inferiore al valore medio corrisponde ad un impianto di rendimento relativamente basso: ed è allora equo che, per i casi di funzionamento dell'impianto stesso ai quali corrispondono piccoli errori nella misura del carico complesso, questa venga effettuata in favore del Cliente. Invece, il caso di n superiore al valore medio corrisponde ad un impianto di rendimento relativamente elevato: ed è equo che la misura venga allora effettuata in favore della Società.

Riguardo dunque ai piccoli errori che si possono commettere nella misura del carico complesso, possiamo intanto dire che essi sono effettivamente del medesimo ordine di grandezza di quelli che si commettono nella ordinaria misura dell'energia cogli ordinari contatori a induzione, che sono d'altronde i più importanti a considerarsi, per le variazioni (di cui si deve sempre tenere conto in pratica), sia della tensione, sia della frequenza, sia della forma della curva della corrente. Cosicchè detti errori non soltanto possono essere accettati nella pratica ordinaria, ma essi inoltre si presentano siccome — si potrebbe quasi dire — affatto convenienti, per tenere conto — nei reciproci rapporti tra le Società e gli Utenti — dei valori o troppo piccoli o troppo grandi, rispetto al valore medio uguale a 3, assunti dal coefficiente n nei singoli casi della pratica industriale.

Ho detto dei piccoli errori che inevitabilmente si riscontrano anche nella attuale misura con gli ordinari contatori a induzione: errori essenzialmente dovuti alle variazioni dello spostamento di fase ψ, dipendenti dalle variazioni della tensione, della frequenza e della forma della curva della corrente.

Ebbene, mi compiaccio potere osservare ancora un altro fatto notevole: e cioè che, anche a questo riguardo, i miei nuovi apparecchi di misura si presentano in condizioni di funzionamento notevolmente migliori che gli ordinari contatori. Immaginiamo, infatti, che, per una delle possibili cause di cui si è detto, lo spostamento di fase ψ venga modificato tanto per gli uni quanto per gli altri apparecchi: per esempio, che esso subisca un aumento rispettivamente dell'1 e del 2 %.

In altri termini, supponiamo che, nel caso del contatore (s'intende a induzione), l'angolo ψ sia portato da 90° rispettivamente a 91° ed a 92°, e nel caso del misuratore del carico complesso, l'angolo ψ venga modificato da 104° rispettivamente a 105° ed a 106°.

Le tabelle I e II indicano gli errori che rispettivamente si commettono in corrispondenza dei differenti valori del fattore di potenza (da $\cos\varphi = 0,9$ a $\cos\varphi = 0,5$) nell'uno e nell'altro di questi due casi. E queste tabelle ci mostrano che gli even-

TABELLA I

Watt.

$$VI \sin(\varphi - \psi) = VI \cos \{ \varphi - (\psi - 90°) \}$$

φ	Da misurare $\psi = 90°$ $VI \cos\varphi$	Misura $\psi = 91°$ $VI\cos(\varphi - 1)$	Errore percentuale
26	0,899 VI	0,906 VI	$\frac{7 \times 100}{899} = +0,8$
30	0,866 VI	0,875 VI	$\frac{9 \times 100}{866} = +1$
40	0,766 VI	0,777 VI	$\frac{11 \times 100}{766} = +1,4$
50	0,643 VI	0,656 VI	$\frac{13 \times 100}{643} = +2$
60	0,500 VI	0,515 VI	$\frac{15 \times 100}{500} = +3$
		$\psi = 92°$ $VI\cos(\varphi - 2°)$	
26	0,899 VI	0,914 VI	$\frac{15 \times 100}{899} = +1,7$
30	0,866 VI	0,883 VI	$\frac{17 \times 100}{866} = +2$
40	0,766 VI	0,788 VI	$\frac{22 \times 100}{766} = +2,9$
50	0,643 VI	0,669 VI	$\frac{26 \times 100}{643} = +4$
60	0,500 VI	0,530 VI	$\frac{30 \times 100}{500} = +6$

TABELLA II

Carico complesso.

$$VI \sin(\varphi - \psi) = VI \cos \{ \varphi - (\psi - 90°) \}$$

φ	Da misurare $\psi = 104°$ $VI\cos(\varphi - 14°)$	Misura $\psi = 105°$ $VI\cos(\varphi - 15°)$	Errore percentuale
26	0,978 VI	9,982 VI	$\frac{4 \times 100}{978} = +0,4$
30	0,961 VI	0,966 VI	$\frac{5 \times 100}{961} = +0,5$
40	0,899 VI	0,906 VI	$\frac{7 \times 100}{899} = +0,8$
50	0,809 VI	0,819 VI	$\frac{10 \times 100}{809} = +1,2$
60	0,695 VI	0,707 VI	$\frac{12 \times 100}{695} = +1,7$
		$\psi = 106°$ $VI\cos(\varphi - 16°)$	
26	0,978 VI	0,985 VI	$\frac{7 \times 100}{978} = +0,7$
30	0,966 VI	0,970 VI	$\frac{9 \times 100}{961} = +0,9$
40	0,899 VI	0,914 VI	$\frac{15 \times 100}{899} = +1,5$
50	0,809 VI	0,829 VI	$\frac{20 \times 100}{809} = +2,4$
60	0,695 VI	0,719 VI	$\frac{24 \times 100}{695} = +3,4$

tuali errori inerenti all'impiego di apparecchi a induzione, allorquando si producono delle variazioni possibili delle differenti caratteristiche di un impianto a corrente alternata, durante il funzionamento dell'impianto stesso, sono assai più piccoli nel caso della misura del carico complesso che nel caso della misura della potenza reale.

Nelle precedenti trattazioni, io mi sono riferito essenzialmente ai casi di impianti per forza motrice; ma ora occorre invece considerare quali sono i risultati pratici dell'applicazione del nuovo metodo di misura ai casi di impianti per illuminazione. E dalle considerazioni che seguiranno, si potrà vedere come in questi casi appunto possa acquistare particolare importanza la misura del carico complesso.

Che cosa misurano oggi, infatti, i contatori ordinari in uso per contratti di fornitura di energia elettrica per impianti di *luce*?

Misurano la quantità: $V . I . \text{cop}\, \varphi$, la quale per $\cos \varphi = 1$ dà $V . I$, ossia dà i *voltampère.*

Che cosa misurano i contatori muniti del mio dispositivo?

Misurano la quantità:

$$\frac{2}{3} V . I \cos \varphi + \frac{1}{3} V . I,$$

la quale, per $\cos \varphi = 1$ (caso degli impianti LUCE), dà ancora precisamente V. I, ossia i VOLTAMPÈRE, *identicamente come nei contatori ordinari.*

Dunque, si constata che pel caso *del vero impianto* per semplice illuminazione con lampade ad incandescenza, cioè a $\cos \varphi = 1$, è indifferente usare sia i contatori ordinari, sia i misuratori del carico complesso. E perciò i clienti che hanno un impianto LUCE in condizioni contrattuali normali, *nessuna differenza possono avere nell'importo mensile* del consumo di energia.

Fino a questi ultimi anni, il fattore di potenza degli impianti di LUCE, non ha preoccupato molto le Società di distribuzione di energia; e, sia perchè effettivamente non esisteva un metodo di misura razionalmente equo, che tenesse conto del fattore di potenza, sia perchè questo si era mantenuto in limiti non dannosi, le Società lo hanno trascurato, ed hanno sempre usato, nel caso degli impianti LUCE, dei contatori ordinari, senza ricorrere ad altri dispositivi per il fattore di potenza.

Ma oggi, con l'estendersi delle installazioni LUCE e con l'e-

stendersi di apparecchi INDUTTIVI, inseriti nelle dette installazioni — come trasformatori riduttori, lampade ad arco, ventilatori, piccoli motori di uso domestico, ed in generale, apparecchi a carico induttivo —, il fattore di potenza discende normalmente ad un tale limite globale medio, che non può più essere tranquillamente trascurato dalle Società, per la relativa non indifferente corrente di magnetizzazione che viene richiesta.

Tuttavia, non tornerebbe conto di applicare dei dispositivi speciali complicati, o da aggiungere ai contatori in uso, per computare anche il fattore di potenza. Ma invece col mio metodo di misura *gli stessi contatori ora in uso*, ne possono tener conto esattamente, e ciò mediante una semplice disposizione, che non modifica per nulla la costruzione ed il funzionamento del contatore ordinario, a qualsiasi tipo esso appartenga, sia elettrodinamico, che ad induzione.

Con l'applicazione del mio sistema, ogni contatore continuerà come prima, per $\cos \varphi = 1$, a misurare i VOLTAMPÈRE; ma esso avrà inoltre il grande vantaggio di fornire alle Società di distribuzione di energia *una vera valvola di sicurezza pel fattore di potenza.* Cosicchè, se il Cliente abbassasse il fattore di potenza, esso verrebbe *giustamente* a pagare alla Società in relazione al consumo in *watt* dato da $V \cdot I \cdot \cos \varphi$, più quel tanto che *esattamente ed equamente* compete alla Società per la corrente di magnetizzazione fornita agli apparecchi induttivi, che *in via abusiva* oggi il cliente stesso inserisce negli impianti di LUCE.

Vediamo ora, infine, come dobbiamo intendere effettivamente, nella ordinaria pratica industriale, la tariffficazione dell'energia elettrica, secondo i nuovi concetti e metodi a cui si informa la misura del carico complesso.

Si può dire che, mediante tale misura, si ottiene un numero totale di kilowatt-ore, tale che, per passare direttamente da esso al valore reale di quanto è stato effettivamente fornito dalla Società all'Utente, possa venire assegnata al kilowatt-ora un'unica tariffa: la tariffa, cioè, che compete razionalmente ed equamente al kilowatt-ora, come se nell' impianto che si considera non si avesse più a tenere conto del fattore di potenza, vale a dire come se il fattore di potenza dell'impianto non fosse più variabile e si mantenesse costantemente uguale ad 1. In tale caso dunque — potendosi trattare nella stessa guisa, per quanto ne concerne la misura e tariffficazione, gli impianti a corrente alternata come le installazioni a corrente continua — non sol-

tanto saranno rese semplici in estremo grado tutte le misure nella ordinaria pratica industriale, ma saranno inoltre rese facili le trattazioni, chiare ed eque le forme dei contratti stipulati fra le Società e gli Utenti.

I nuovi apparecchi di misura sono ancora effettivamente dei wattometri o dei contatori, ma essi presentano la sola differenza caratteristica che i watt, che essi misurano od integrano rispetto al tempo, *sono tariffcati per* $\cos \varphi = 1$ *in modo automatico*, qualunque sia il valore del fattore di potenza dell'impianto su cui si sperimenta.

Poichè la Società di distribuzione dell'energia elettrica abbia stabilito il prezzo del kilowatt-ora a $\cos \varphi = 1$, la Società stessa, mediante l'impiego dei miei apparecchi, non ha più bisogno di preoccuparsi dello sfasamento esistente nelle singole installazioni dei suoi abbonati, e del conseguente maggior carico amperometrico richiesto per il funzionamento delle dette installazioni.

Consideriamo, infatti, un dato impianto, dove V ed I siano i valori efficaci della tensione e dell' intensità di corrente e φ il valore angolare dello spostamento di fase fra V ed I.

Supponiamo che, mediante un artificio qualunque — ad es., per mezzo di una batteria di condensatori di capacità conveniente, inserita in derivazione sulla rete di distribuzione —, si possa fornire tutta l'intensità di corrente di magnetizzazione $I \operatorname{sen} \varphi$ necessaria per il funzionamento degli apparecchi utilizzatori nell'impianto considerato. In queste condizioni, se si suppongono inseriti sulla conduttura principale, prima degli apparecchi utilizzatori, un wattometro ordinario e un apparecchio misuratore del carico complesso, questo darà evidentemente la medesima indicazione dell'altro, poichè, in questo caso speciale, il carico complesso è ridotto alla semplice potenza reale, essendo la corrente in quadratura $I \operatorname{sen} \varphi$ prodotta, come si è voluto supporre, direttamente presso l'Utente per mezzo della batteria di condensatori.

Ma supponiamo ora che si abbia a sperimentare sopra un ordinario impianto a corrente alternativa ed a carico induttivo, al quale, come avviene comunemente in pratica, la Centrale debba fornire anche la corrente di magnetizzazione necessaria per il funzionamento degli apparecchi installati nel detto impianto. È precisamente in questo caso che la Società deve fare entrare in conto la corrente in quadratura, per la misura e ta-

rifficazione dell'energia elettrica effettivamente fornita all'Utente, avuto riguardo anche al modo di utilizzazione dell' energia stessa.

In fatto, però, qui occorre osservare che la componente $V . I . \text{sen}\, \varphi$ della potenza apparente non è fornita mediante una canalizzazione propria: la Società la procura al Cliente, insieme all'altra componente della potenza apparente, e cioè unitamente alla potenza reale $V\, I \cos \varphi$, per mezzo della medesima conduttura di trasmissione e della stessa rete di distribuzione. Dunque per la misura e tariffficazione dell'energia elettrica, non si deve prendere a considerare la somma $I \cos \varphi + I\, \text{sen}\, \varphi$, ma si deve tenere conto che queste due correnti $I \cos \varphi$ e $I\, \text{sen}\, \varphi$ sono spostate di fase di 90° l'una rispetto all'altra, ed hanno, per conseguenza, per risultante

$$\sqrt{I^2 \cos^2 \varphi + I^2 \text{sen}^2 \varphi} = I.$$

Quale è allora il supplemento di corrente che deve essere computato? Esso, ripeto, non è $I\, \text{sen}\, \varphi$, ma bensì la differenza $I - I \cos \varphi = I\,(1 - \cos \varphi)$, tra l'intensità di corrente totale e l'intensità della corrente utile.

Orbene, mentre supporremo già convenientemente tariffficata la corrente $I \cos \varphi$, fornita alla tensione V dell'impianto, la corrente $I\,(1 - \cos \varphi)$ dovrà, invece, essere valutata ad una tariffa media, che, come è stato dimostrato, sarà il terzo della tariffa stabilita per la potenza reale.

Ma d'altra parte, al prodotto di tariffficazione della quantità per una data frazione del prezzo, si può evidentemente sostituire il prodotto dell'intiero prezzo per la stessa data frazione della quantità: e quindi moltiplicare per la stessa tariffa già applicata a $V\, I \cos \varphi$, la terza parte di $V\, I\,(1 - \cos \varphi)$, vale a dire ancora moltiplicare per quella medesima tariffa già stabilita, l'espressione:

$$V . I . \cos \varphi + V\, I \frac{1 - \cos \varphi}{3} = \frac{2}{3} V . I . \cos \varphi + \frac{1}{3} V . I .$$

E questa è appunto la formula del carico complesso, ossia l'espressione di quanto effettivamente si deve misurare in corrispondenza della tariffa stabilita per il kilowatt-ora a $\cos \varphi = 1$: e la cui misura è data, come io ho dimostrato, con sufficiente pratica esattezza, mediante l'applicazione dei miei nuovi metodi ed apparecchi industriali.



Cosicchè, conseguentemente a quanto è stato detto, le relative targhette dei contatori a cui venga applicato il mio dispositivo per la misura del carico complesso, avranno — nel caso di impianti monofasi, e secondo che si tratta di apparecchi per luce o per forza — rispettivamente la dicitura fatta secondo i campioni tipi *A)* e *B)* quivi contrassegnati.

A)

LUCE ($\cos \varphi = 1 \div 0{,}8$)

KILOWATT-ORE tariffìcati a $\cos \varphi = 1$

SISTEMA BREVETTATO Prof. ARNÒ

Volt ...... Ampère ...... Periodi ......

$\frac{2}{3}$ kilowatt-ora + $\frac{1}{3}$ kilovoltampère-ora = ... giri del disco.

B)

FORZA ($\cos \varphi = 0{,}92 \div 0{,}5$)

KILOWATT-ORE tariffìcati a $\cos \varphi = 1$

SISTEMA BREVETTATO Prof. ARNÒ

Volt ...... Ampère ...... Periodi ......

$\frac{2}{3}$ kilowatt-ora + $\frac{1}{3}$ kilovoltampère-ora = ... giri del disco.

Finalmente è da osservarsi come qualsiasi apparecchio di misura dell'energia, a corrente alternata — sia esso elettrodinamico o a induzione — possa consentire per mezzo di operazioni costruttive assai semplici, e con la minima spesa, l'applicazione del mio metodo per la misura del carico complesso.

Per gli apparecchi elettrodinamici basta evidentemente l'ag-

giunta esterna di una piccola bobina induttiva convenientemente calcolata e costrutta. Per gli apparecchi a induzione, e avuto riguardo in modo speciale ai contatori, il mio dispositivo si applica con tutta semplicità, e senza bisogno di aggiunte, nè di scomposizione dell' apparecchio: essendo sempre sufficienti lievissimi spostamenti di pezzi già in posto o semplici modificazioni di parti esistenti. E l'applicazione del dispositivo, già fatta a tutti i tipi di Contatori più importanti del commercio, ne ha ampiamente dimostrata la facilità, la speditezza ed il minimo costo. L'egregio ingegnere Giulio Giulietti, mio assistente e collaboratore, ha fatto a tale riguardo una serie completa di ricerche sperimentali, di cui egli appunto in questi giorni renderà noti gli importanti risultati industriali.

Ed in merito ai contatori a induzione, si può ancora soggiungere — come risulta dalle stesse esperienze dell'ing. Giulietti — che l'applicazione del mio dispositivo per la misura razionale dell'energia elettrica, non apporta alcuna variazione apprezzabile nel consumo proprio degli apparecchi.

Concludendo, da quanto è stato detto risulta chiaramente — e del resto appare evidente dalle mie precedenti trattazioni fatte alla Associazione Elettrotecnica — in quali notevoli proporzioni siano ingiusti ed inequi i metodi di tarifficazione basati sulla misura del prodotto della potenza apparente per un coefficiente contrattuale prestabilito, oppure sulla misura pura e semplice della potenza reale.

Gli è ben vero che — nella misura e tarificazione coll'uno o coll'altro dei metodi oggi in uso nella ordinaria pratica industriale — le Società potranno sempre adottare coefficienti e tariffe tali da rendere la misura e tarifficazione praticamente esatta per il valore medio del fattore di potenza dell'impianto che si considera: tali, cioè, da compensare in certo modo, nel loro proprio interesse, gli errori di cui si è detto; ma con ciò tuttavia la questione rimane in ogni caso del tutto insoluta per quanto concerne i rapporti fra le Società ed i singoli Utenti.

Finora dunque, non esistendo il metodo industriale scientificamente esatto e praticamente sicuro, che garantisse, sia agli Utenti, sia alle Società, la misura e la conseguente esatta tarificazione dell'energia elettrica sulla equa base del suo vero modo di utilizzazione, ben si comprende come solo per questa mancanza si siano mantenuti in uso gli attuali metodi empirici difettosi ed ingiusti, accettati in mancanza di meglio.

È quindi di indiscutibile evidenza nel campo pratico delle misure industriali dell'energia elettrica, il vantaggio di un metodo di misura che direttamente e senza ulteriori correzioni o modificazioni tenga conto di tutti gli elementi del consumo dell'Utente, anche per ciò che riguarda lo spostamento di fase nel suo impianto, e le relative variazioni di esso durante il funzionamento dell'impianto stesso.

Ed i nuovi metodi di tariffficazione dell'energia elettrica, mentre non sono mai a danno di alcuna delle due parti contraenti, porgono invece a ciascuna il vantaggio della sicurezza che l'energia venduta e l'energia comperata sono, nel reciproco interesse del venditore e del compratore, computate esattamente ed in modo perfettamente equo, tenendo conto di tutti gli elementi che compongono il prezzo di costo, e di tutti quelli che devono comporre l'importo da pagare in rapporto alla vera fornitura da parte della Società, ed al corrispondente effettivo consumo da parte dell'Utente.

Soltanto dunque, con l'applicazione del mio sistema di misura, la tariffficazione dell'energia elettrica potrà dirsi fatta in modo razionale ed esatto scientificamente e praticamente. Onde ne consegue che, senza alcun dubbio, i nuovi metodi ed apparecchi dovranno trovare in pratica estesa applicazione.

RÉSUMÉ

L'A. démontre que, par le nouveau système de mesure, on obtient un nombre de kilowatts-heures total tel que, pour passer directement de cette valeur à la valeur réellement fournie par la Société à l'abonné, on peut appliquer au kilowatt-heure un seul tarif, à savoir le tarif que, rationnellement et équitablement, on appliquerait au kilowatt-heure si, dans une installation donnée, on devait ne pas tenir compte du facteur de puissance. Ceci revient au même que si, dans la dite installation, le facteur de puissance était toujours constant et égal à 1. Dans ce cas — en considérant de la même manière les installations à courant alternatif et les installations à courant continu — on simplifiera sensiblement les

mesures dans la pratique industrielle ordinaire; de même les tractations seront facilitées, puisqu'il y aura une base équitable et simple dans les contrats entre Société et Abonnés.

Les nouveaux appareils de mesure sont encore effectivement des wattmètres et des compteurs, mais ils présentent cette différence caractéristique que les watts mesurés ou intègrés par rapport au temps, sont tarifés pour $\cos \varphi = 1$, *et cela automatiquement, quelle que soit la valeur du facteur de puissance de l'installation considérée.*

Puisque la Société de distribution a établi la valeur ou le prix du kilowatt-heure à $\cos \varphi = 1$, *elle n'a plus besoin, par l'emploi des nouveaux appareils, de se préoccuper du déphasage des installations des abonnés et du courant magnétisant demandé par les dites installations.*

La mesure de la puissance réelle ne tient pas compte, dans la tarification de l'énergie électrique, du courant magnétisant; la mesure de la puissance apparente, par contre, fait intervenir dans l'évaluation du prix relatif, le courant en phase comme celui en quadrature. L'A. démontre qu'on doit prendre comme base pour la tarification de l'énergie électrique:

$$C = \frac{2}{3} P_r + \frac{1}{3} P_a$$

qu'il a appelé: Charge complexe.

Les nouvelles méthodes et les nouveaux appareils de mesures industrielles ont pour objet d'évaluer la charge complexe, c'est-à-dire: la somme des $\frac{2}{3}$ *de la puissance réelle et de* $\frac{1}{3}$ *de la puissance apparente.*

Et, précisément, ces méthodes et appareils de mesure ont pour objet de tenir compte, de façon pratiquement exacte, en ce qui concerne la mesure de l'énergie électrique, non seulement de la puissance réelle, mais aussi du genre d'utilisation de l'énergie même; de faire intervenir, par conséquent, dans le décompte, eu égard à leur prix rélatif en pratique, le courant utile comme le courant magnétisant.

L'application de la formule fondamentale à la construction des mesurateurs industriels de charge complexe, exige avant tout la considération de deux grandes catégories d'installations, savoir:

Installations d'éclairage, *dans lesquelles le facteur de puissance varie de 1 à 0,8.*

Installations de force motrice, *dans lesquelles le facteur de puissance varie entre 0,92 et 0,5.*



Considérant le cas des installations à courant alternatif simple, l'A. a trouvé que la mesure de la charge complexe:

$$\frac{2}{3} P_r + \frac{1}{3} P_a$$

peut être effectuée, avec une exactitude suffisante en pratique, par un compteur ordinaire, soit électrodynamique soit d'induction, à la seule condition de modifier convenablement la différence de phase ψ entre le courant et la différence de potentiel appliquée aux extrémités du circuit voltmétrique. Précisément: les valeurs de ψ ont les caractéristiques suivantes, pour les deux cas de l'éclairage et de la force motrice:

Éclairage ($\cos\varphi = 1$ à 0,8)	appareils électrodynamiques	$\psi = 5°$
	„ d'induction	$\psi = 95°$
Force motrice ($\cos\varphi = 0,92$ à 0,5)	appareils électrodynamiques	$\psi = 14°$
	„ d'induction	$\psi = 104°$

En considérant le cas des installations triphasées de force motrice, dissymétriquement chargées, l'A. a trouvé encore que la mesure de la charge complexe peut être effectuée avec une exactitude suffisante en pratique avec deux compteurs ordinaires, soit électrodynamiques soit d'induction, aux seules conditions ci-après:

1° *Tandis que le déphasage reste le même pour l'un des deux appareils, il est à modifier pour l'autre, et respectivement élevé de 0° à 30° s'il s'agit d'appareils électrodynamiques, ou réduit de 90° à 60°, dans le cas d'appareils d'induction;*

2° *Les appareils électrodynamiques doivent être insérés dans le système triphasé d'après la méthode ordinaire des deux compteurs; les appareils d'induction doivent être, tous les deux, insérés de la même façon dans le système triphasé en utilisant, pour chacun d'eux, une différence de potentiel ayant un retard de phase de 30°.*

L'A. fait observer que tout appareil de mesure de l'énergie, à courant alternatif — soit électrodynamique, soit d'induction — peut être employé avec des dispositions très simples de construction et une dépense minime, à l'application de sa méthode de mesure de la charge complexe.

Pour les appareils électrodynamiques, il suffit évidemment d'ajouter une petite bobine inductive bien calculée et construite. Pour les appareils d'induction, et, notamment, pour les compteurs, sa disposition s'applique en toute simplicité, sans besoin de décomposer l'appareil, étant donné qu'il

suffit toujours de déplacer de petites pièces ou de modifier légèrement d'autres organes.

L'application de ce dispositif, déjà faite pour tous les types plus importants de compteurs du commerce, a démontré amplement la facilité, la rapidité et le prix minime de la transformation.

L'Auteur conclue en observant qu'en l'absence d'une méthode industrielle scientifiquement exacte et pratiquement sûre, garantissant, soit aux Abonnés soit à la Société, la mesure et la subséquente tarification exacte de l'énergie électrique sur une base en rapport équitable avec l'utilisation réelle, on a maintenu, faute de mieux, en usage les méthodes actuelles empiriques, défectueuses et inexactes.

Il en ressort par conséquent, avec une indiscutable évidence, pour la pratique des mesures industrielles de l'énergie électrique, l'avantage d'une méthode de mesure tenant compte directement et sans autres corrections ou modifications de tous les éléments de la consommation de l'Abonné, aussi bien en ce qui regarde le déphasage et ses variations dans l'installation.

DISCUSSION

sur les Rapports de MM. PONTI et ARNÒ.

M. P. BOUCHEROT (Paris) — *déclare qu'il est tout à fait d'accord avec M. Riccardo Arnò sur la nécessité de tenir compte du facteur de puissance, dans la tarification de l'énergie électrique, mieux qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, mais qu'il est en désaccord avec lui sur les moyens d'y arriver.*

Il est hors de doute que la méthode actuelle, qui consiste à ne faire payer au client que l'énergie réelle, doit être modifiée, eu égard aux inconvénients reconnus des mauvais cos φ. Électro-magnétiquement parlant, la puissance réactive est plus difficile à produire et à transporter que la puissance réelle. Non seulement il n'est pas équitable de ne faire payer que l'énergie réelle, sans égard au cos φ, mais cette manière de faire n'engage pas le client à améliorer son facteur de puissance. De cette manière, le client, au lieu de coopérer avec la centrale à l'amélioration des conditions du fonctionnement général du réseau, s'en désintéresse complètement; il n'hésite pas, même, à faire son cos φ plus mauvais si son intérêt est ailleurs.

Sur la question de principe, M. Boucherot appuie donc autant qu'il peut les propositions de M. Arnò. Quant aux moyens à employer, il n'en est pas de même; il ne se déclare pas convaincu par les arguments de M. Arnò en faveur de la mesure de

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{\mathrm{n}}\,\mathrm{U\,I}\,(1 - \cos\varphi).$$

Il y a d'autres considérants qui lui font préférer la mesure de

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{\mathrm{x}}\,\mathrm{U\,I}\sin\varphi.$$

Ce qui serait trop long à développer dans le cadre d'une courte discussion.

Il pense, de plus, que cette méthode de tarification aurait plus de chance d'être acceptée généralement que celle préconisée par M. Arnò, parce qu'elle pourrait s'appliquer sans modification des compteurs existants, par la simple addition d'une bobine de selfinduction dans le fil de chaque compteur, et un changement du prix unitaire.

Si on intercale dans le fil fin d'un wattmètre, une selfinductance qui déphase le courant dans ce fil fin d'un angle ψ, *le wattmètre au lieu d'indiquer* U I cos φ *indique*

$$\mathrm{U\,I} \cos \psi \cos (\varphi - \psi),$$

ce qui peut s'écrire aussi:

$$\cos^2 \psi \, [\mathrm{U\,I} \cos \varphi + \mathrm{tg}\, \psi \, \mathrm{U\,I} \sin \varphi].$$

En faisant $\mathrm{tg}\, \psi = \frac{1}{x}$ *on obtient donc tout naturellement la tarification de la puissance réelle et de la puissance réactive dans le rapport voulu* $\frac{1}{x}$.

M. R. ARNÒ (Milan) — *est heureux que M. Boucherot prête l'appui de la grande autorité de son nom à la question de la tarification de l'énergie électrique, l'importance des installations modernes réclamant désormais une solution radicale et décisive.*

Il reste donc encore une fois bien établi que la façon d'utiliser l'énergie électrique par les stations réceptrices doit absolument entrer en ligne de compte dans la mesure industrielle de cette énergie, notamment eu égard au déphasage.

A cet égard, M. le prof. Arnò, en rappelant la formule que M. Boucherot préfère pour la mesure de l'énergie, croit devoir faire les remarques suivantes:

1° Dans ses études et ses publications antérieures sur sa nouvelle méthode de tarification, M. Arnò a traité aussi de la méthode, comme depuis longtemps, sur laquelle on a même pris quelques brévets inutilisés, et dont M. Boucherot vient de nous parler.

Cette méthode réalise la mesure par la somme de la puissance réelle et d'une certaine fraction de la quantité U I sin φ, *c'est-à-dire par l'expression:*

$$\mathrm{U\,I} \cos \varphi + \frac{1}{x} \mathrm{U\,I} \sin \varphi.$$

M. Arnò rappelle à ce propos ses publications; savoir:

1. Atti dell'Associazione Elettrotecnica Italiana. *Marzo e Aprile*

1910, Vol. XIV, fasc. 2°. — ARNÒ - *Nuovi metodi di misura industriale, ecc.; pagg. 192, 193.*

2. Atti dell'Ass. El. It. - *Ibid.: Nota. - Voir à page 150.*

3. Atti dell'Ass. El. It. - *Luglio e Agosto 1910, Vol. XIV, fasc. 4°.* — ARNÒ - *Rappresentazione grafica e verifica sperimentale dei nuovi metodi di misura, ecc.... page 597;*

où il a donné des démonstrations évidentes de l'erreur absolue où aboutirait l'adoption de la dite formule.

2° Ceci posé, M. le prof. ARNÒ *désire ajouter les observations suivantes, qui font encore ressortir l'erreur d'une tarification basée sur la dite expression:*

M. le prof. Lorenzo Ferraris dans son Cours de Mesures Électricques *(Turin - Bona, éditeur, 1911) montre d'une façon très claire que, pour avoir une tarification vraiment exacte, il faudrait " que la quantité " à laquelle on doit appliquer le tarif fût composée de trois termes, savoir: "* a) *la puissance réelle* $U I \cos\varphi$; b) *une fraction convenable de la dif- " férence* $U I - U I \cos\varphi$ *entre la puissance apparente totale et la puis- " sance réelle;* c) *une fraction de la quantité* $U I \sin\varphi$ *correspondante " au courant déwatté ".*

On peut parfaitement négliger, dans la pratique industrielle, cette dernière quantité par rapport aux deux autres, a) et b), car elle se rapporte à la dépense due à l'excitation, dépense minima n'ayant qu'une influence tout à fait négligeable sur le prix de revient de l'énergie. Ce sont donc les deux premiers termes qu'on doit faire entrer en ligne de compte. Pour adopter, pour a) e b), un tarif unique, on devra déterminer la valeur de la fraction $\frac{1}{n}$ *qu'on doit appliquer au deuxième terme de la somme*

$$U I \cos\varphi + \frac{1}{n}(U I - U I \cos\varphi)$$

afin d'obtenir une mesure exacte de l'énergie par rapport au décalage de phase. Cette valeur de n, *déterminée par les recherches du prof. Arnò et confirmée par la pratique industrielle, aboutit à un coefficient numérique moyen* $= 3$, *valable pour toutes les installations normales, et indépendant du déphasage.*

3° Sans répéter les démonstrations données dans les publications qu'on vient d'indiquer, le prof. Arnò résume ici les motifs qui font absolument rejeter la formule en question:

Si l'on prend en considération un diagramme représentant les variations de $\cos\varphi$ *et* $\sin\varphi$ *pour les valeurs de* φ *comprises entre 0° e 90°, on voit*

que, lorsque les variations de cos φ *sont représentées, par une droite, celles de* sin φ *sont représentées par un arc de cercle* (1).

Alors la somme

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{x}\,\mathrm{U\,I}\sin\varphi,$$

pour les différentes valeurs des déphasages est composée de deux quantités, fonctions de la même variable, mais dont l'une (cos φ) *varie suivant une loi rectiligne, l'autre* sin φ *suivant une loi circulaire.*

Dans la formule proposée par le prof. Arnò, les deux quantités U I cos φ *et* U I (1 — cos φ) *sont, toutes deux, fonctions de la même variable* cos φ, *et toutes deux varient suivant une loi rectiligne.*

De plus, tandis que, dans l'autre formule, on doit avoir $\frac{1}{x} = \mathrm{tg}\,\psi$, *dans celle proposée par M. le prof. Arnò le coefficient* n *est tout à fait indépendant des déphasages, soit de la ligne, soit des instruments: et ne dépend que des éléments des frais d'installation, qu'ont une valeur moyenne fixe pour toute installation pratiquement et industriellement réalisable.*

Dans les publications énoncées, le coefficient $\frac{1}{n}$ *est égale à* $\frac{1}{3}$ *c'est-à-dire* n = 3, *valeur moyenne générale pour toutes les installations.*

De là, on a tiré la mesure assez simple, rationnelle de l'énergie par la relation

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{3}\,\mathrm{U\,I}\,(1 - \cos\varphi)$$

à laquelle on peut donner une forme encore plus simple et assez caractéristique, soit:

$$\frac{2}{3}\,\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{3}\,\mathrm{U\,I}$$

qui a une signification bien déterminée.

La solution donnée par la formule que M. Boucherot préfère (solution qu'on obtient en introduisant un déphasage choisi dans la bobine à fil fin à l'aide d'une inductance en série) est très exacte, si l'on veut effectivement mesurer la quantité U I cos $\varphi + \frac{1}{x}$ U I sin φ. *Mais le prof. Arnò*

---

(1) Voir: *Atti dell'Ass. Elettr. Ital.* - Luglio-Agosto 1910, vol. XIV, p. 592 et suiv. - ARNÒ, Rappresentazione grafica e verifica, etc.



fait observer que cette expression, en pratique, n'a aucune signification pour la mesure rationnelle de l'énergie électrique.

L'exactitude de la formule du prof. Arnò, au contraire, reçoit une confirmation très importante par la preuve de la valeur moyenne de $n = 3$ *qu'on doit introduire dans la formule même, car cette valeur est précisément celle qu'on a pu mesurer comme rapport de la valeur (prix de revient) du courant watté à la valeur (prix de revient) du courant déwatté.*

Si, dans la formule $UI\cos\varphi + \frac{1}{x} UI\sin\varphi$, *on substitue à x cette valeur 3, on voit aisément qu'on aboutit à des erreurs inacceptables dans la pratique ordinaire, puisqu'elles seraient plus grandes que les erreurs qu'on ferait en mesurant simplement les watts et en négligeant le courant déwatté.*

Bien que cette méthode soit connue depuis longtemps (dès 1899), elle n'a jamais été appliquée à cause de l'impossibilité de son application pratique.

4° En ce qui concerne la praticabilité de l'application, le prof. Arnò fait observer qu'avec sa méthode il suffit d'introduire des déphasages choisis dans les bobines voltmétriques, déphasages spécifiques et caractéristiques *pour chacun des deux genres principaux d'installations de la pratique industrielle ordinaire, c'est-à-dire:* installations d'éclairage *et* installations de force motrice, *déterminés par le prof. Arnò suivant ses brevets et d'après ses publications.*

Mais le prof. Arnò tient encore à faire ressortir qu'à la simplicité d'application de sa méthode aux instruments existants, on doit ajouter la caractéristique industrielle et économique principale de la méthode. La voici: Les instruments qui réalisent la méthode du prof. Arnò, mesurent ou intègrent, par rapport au temps, des puissances en watts, qui sont tarifées à $\cos\varphi = 1$, *d'une façon automatique, quelque soit le facteur de puissance pratique de chaque installation. En d'autres termes, une fois que la société de distribution d'énergie électrique a établi le prix de la dite énergie pour* $\cos\varphi = 1$, *par l'adoption des instruments réalisant la méthode Arnò, elle n'a plus besoin de se préoccuper des déphasages propres à chaque installation, car les instruments mêmes feront entrer automatiquement en ligne de compte, dans leurs indications, les variations du facteur de puissance.*

5° Pour mieux faire ressortir le résultat final de la formule proposée par le Prof. Arnò, on peut encore ajouter que la composante

$$UI\sin\varphi$$

de la puissance apparente n'est pas fournie par la Société à l'abonné par une ligne spéciale, mais bien à l'aide de la même ligne ou du même réseaux que l'autre composante U I cos φ. *Alors, pour la mesure et pour la tarification, on ne devra pas compter la somme*

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \mathrm{U\,I}\sin\varphi,$$

mais bien la résultante

$$\mathrm{U\,I} = \mathrm{U}\sqrt{\mathrm{I}^2\cos^2\varphi + \mathrm{I}^2\sin^2\varphi},$$

car les deux courants I *cos* φ *et* I *sin* φ *sont déphasés de 90° l'un par rapport à l'autre.*

On devra donc ajouter à I cos φ *un supplément de courant, donné, non plus par une fraction de* I sin φ, *mais bien par une fraction de la différence* I — I cos φ, *c'est à dire* I (1 — cos φ) *entre l'intensité du courant total et l'intensité du courant watté.*

On devra appliquer à cette différence un tarif qu'on a demontré être $\frac{1}{3}$ *du tarif déterminé par la puissance réelle* U I cos φ.

Mais, puisqu'au produit d'une quantité, pour une fraction donnée du prix, on peut substituer le produit du prix pour la même fraction de la dite quantité, il s'ensuit qu'on pourra appliquer intégralement le tarif unitaire à une quantité d'énergie donnée par l'expression:

$$\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \mathrm{U\,I}\,\frac{1-\cos\varphi}{3} = \frac{2}{3}\,\mathrm{U\,I}\cos\varphi + \frac{1}{3}\,\mathrm{U\,I}.$$

Cette formule, trouvée et proposée par le Prof. Arnò, est réalisée dans ses appareils d'une façon très simple, en même temps que très exacte et sûre.

M. M. Bonghi (Naples). — *Fait remarquer l'importance des arguments traités par MM. les Prof. Ponti et Arnò, arguments qui se relient indirectement au problème de l'uniformisation complementaire* des diagrammes de charge, *si savamment examiné par M. Sartori. Il observe pourtant que, tandis que le Prof. Ponti se borne à exposer les principes d'une tarification en vue d'obtenir la vente la plus grande possible eu égard aux différentes conditions de chaque utilisation, le Prof. Arnò se borne à proposer une tarification qui tienne compte du déphasage produit par les charges inductives, et à cet effet décrit les modifications à apporter aux compteurs actuels. La tarification proposée par le Prof. Arnò vise non seulement une question théorique et technique de grande impor-*

tance, mais aussi une question pratique qui doit s'accorder, soit avec les législations qui fixent les unités de vente, soit avec des usages désormais établis. Pourtant, la proposition importante en elle même, puisqu'elle tend à faire supporter équitablement aux consommateurs les conséquences pratiques de leurs installations, doit être, quant à présent, accueillie avec beaucoup de prudence, en souhaitant que, dans un avenir plus ou moins éloigné, elle soit pleinement résolue à la satisfaction de tous les intérêts.

LA LÉGISLATION

sur la transmission électrique de l'énergie

Rapporto sul Tema N. 29 del Congresso.

Relatore L. M. BARNET-LYON (La Haye).

Historique.

Abstraction faite de la transmission électrique des signaux et de la parole, la transmission électrique de l'énergie date de la démonstration faite par M. Marcel Deprez, à l'exposition d'électricité de Munich en 1881, d'un transport de force d'un demi cheval à sept kilomètres de distance. Ces mêmes expériences renouvelées en 1886 à grands frais entre Paris et Creil sur une distance de 15 kilomètres permirent de transmettre électriquement une énergie de 115 chevaux avec un rendement mécanique de 46 $^0/_0$. Malgré le grand retentissement de ces expériences, au point de vue pratique le résultat obtenu était plutôt décourageant. En fait ce résultat démontrait clairement qu'avec l'outillage électrique de ces jours, la transmission électrique d'une quantité d'énergie tant soit peu notable ne pouvait être effectuée dans des conditions économiques. L'étude approfondie des courants alternatifs et la découverte du principe du moteur à champ tournant, indiqué presque simultanément par Ferraris en Italie, Tesla en Amérique et Haselwander en Allemagne, devaient amener la solution du problème.

La dernière étape, sur la route rapidement parcourue de la solution théorique à la solution pratique du problème du transport électrique de l'énergie, fut franchie par M. von Dolivo-Dobrowolski.

Cet ingénieur démontra à l'exposition d'électricité de Francfort sur le Main en 1891 la possibilité technique et la vitalité économique d'un transport d'énergie de plusieurs centaines de chevaux au moyen d'une transmission à courants triphasés sous une tension de 14.000 à 15.000 volts. Le record du rendement mécanique, la génératrice étant distante de 170 kilomètres de la réceptrice, était porté à 75 %.

Dès lors l'utilisation à distance de la force motrice disponible des cours d'eau à chute utilisable pouvait être considérée comme un problème résolu.

A l'heure actuelle la distribution de l'énergie électrique par des stations centrales régionales, desservant des rayons qui s'étendent bien au delà des limites d'un département ou d'une province, n'est plus le privilège exclusif des contrées favorisées par la disponibilité de la houille blanche, grâce aux progrès incessants de l'art de l'ingénieur en matière de la production et de la distribution économique de l'énergie. Les charbonnages, les tourbières, les hauts fourneaux, etc., deviennent tous des centres de production d'énergie électrique, que des conducteurs à haute tension distribuent au loin.

Pour ne citer qu'un seul exemple nous mentionnons que l'Allemagne compte actuellement plus de 250 stations centrales régionales (Ueberland Centralen) desservant des rayons de grande étendue.

Nécessité d'une législation sur les transmissions électriques de l'énergie.

Le rapide développement de l'industrie des transports de l'énergie électrique devait forcément entraîner bien des conflits. L'emploi des hautes tensions, dans les lignes de transmission, nécessaires à une solution économique, peut être une menace pour la sécurité des personnes et de la propriété, pour peu que l'exécution des travaux laisse à désirer.

La présence simultanée des lignes destinées à la transmission des signaux et de la parole et de celles affectées aux courants

industriels, sur un même trajet, peut, dans certaines conditions, causer de sérieuses perturbations dans les communications téléphoniques et télégraphiques.

Les croisements des lignes précipitées exigent des précautions spéciales afin de prévenir des contacts, dont les suites pourraient être funestes.

Afin de rétablir l'équilibre rompu et de concilier les intérêts contraires, la loi doit intervenir. Certes, dans les pays où les communications télégraphiques et téléphoniques sont l'objet d'un monopole de l'État, l'administration compétente sera généralement en mesure de défendre les intérêts des services qui lui sont confiés d'une façon efficace; de même la propriété, soit rurale, soit privée, peut subordonner son concours à des conditions protectrices de ses intérêts. Néanmoins il convient de considérer, que la transmission électrique de l'énergie, qui met la force motrice à la disposition de l'industrie, de l'agriculture, des moyens de transport, etc., à des prix abordables, est un facteur de relèvement et de développement économique de première importance et par conséquent d'intérêt général.

Si donc d'une part la nécessité de protéger la sécurité publique, en prévenant les dangers auxquels pourraient être exposés les personnes et les choses, est indubitable, s'il faut assurer le bon fonctionnement des communications télégraphiques et téléphoniques, auxquelles se rattachent tant d'intérêts, d'autre part il importe de permettre à l'industrie des transmissions électriques de l'énergie d'étendre son action vivifiante dans un rayon aussi étendu que possible. A cet effet il sera nécessaire de restreindre les droits de la propriété dans une certaine mesure, et en outre de mettre l'industrie précitée à même de se défendre contre les prétentions excessives des autorités locales, voire même des administrations des services régis par l'État.

La tâche législative ci-dessus indiquée ne peut incomber qu'à l'État.

Pays ayant une législation concernant les transmissions d'énergie.

En tant que notre enquête forcément bien incomplète nous a permis de constater, une législation concernant les transmissions électriques de l'énergie est en vigueur en France, en An-



gleterre, en Suisse, en Italie, en Espagne, en Hongrie et en Suède.

Nous pouvons mentionner en outre que des projets de loi sont à l'étude en Allemagne, en Autriche et en Hollande.

Cadre des lois.

Le cadre des lois, régissant les transmissions de l'énergie, que nous avons pu comparer, diffère sensiblement. Ainsi par exemple, la loi Helvétique embrasse tout le domaine de la transmission des signaux et de la parole à la transmission électrique de l'énergie, tandis que la loi Française ne comprend que les transmissions d'énergie proprement dites et qu'en Espagne et en Italie la loi ne traite uniquement que des servitudes créées en faveur des lignes affectées aux transmissions de l'énergie en vue des applications industrielles.

Autres différences.

Une autre cause de différentiation est, pour ainsi dire, nationale. Dans tous les pays une loi nouvelle devra nécessairement être intimement liée aux lois et aux conceptions de droit existantes; de même elle portera l'empreinte du système administratif de gouvernement propre à chaque pays.

Ces différences de base, d'attache, de système et de cadre propres à chaque loi nationale entraînent, qu'une comparaison des législations, qui nous occupe, ne pourra s'étendre utilement que sur un nombre limité de sujets.

Limitation du sujet.

Des sujets susceptibles de comparaison nous écarterons ceux qui se rattachent à des questions purement techniques, telles que les prescriptions relatives aux mesures de sécurité, pour ne considérer que les questions relatives au droit de passage, au traitement des lignes préexistantes, à la solution des conflits et à la responsabilité.

Une autre limitation procède de ce qu'une partie des lois qui nous intéressent nous a été inaccessible, faute d'une traduction dans une langue que nous possédions suffisamment.

Droit de passage.

Le droit de passage, question vitale pour les transmissions électriques de l'énergie, est attribué à ces transmissions dans toutes les lois et projets de lois que nous avons pu consulter. Seules l'étendue de ce droit et les restrictions qui lui sont apportées, en vue de donner des garanties à la propriété publique ou privée, varient.

Suisse. — La loi fédérale Suisse (¹) subordonne le droit de passage à une demande d'expropriation, expropriation qui peut conférer au demandeur le droit de cojouissance du domaine public, cantonal ou communal, le droit d'acquisition de la propriété privée et le droit de grever cette propriété d'une servitude permanente, ou seulement temporaire.

Cependant les communes peuvent, aux fins de protéger leur intérêts légitimes, refuser la cojouissance du domaine public ou bien la subordonner à des conditions restrictives, sauf le cas que le transport d'énergie est destiné à l'exploitation électrique d'un chemin de fer. D'autre part les installations électriques ne pourront prétendre à la cojouissance d'un terrain public, qu'en respectant les autres usages, auxquels il est destiné.

Un recours en première instance est pourvu auprès du gouvernement cantonal et en dernière instance auprès du gouvernement fédéral.

Finalement les entreprises de transport d'énergie peuvent exiger, moyennant indemnité au propriétaire, l'ébranchement des arbres menaçant la sécurité ou le fonctionnement d'une ligne.

France. — Le droit de passage, auquel peuvent prétendre les distributions d'énergie électrique en France, dépend du ré-

---

(¹) Loi fédérale concernant les installations à faible et à fort courant (du 24 juin 1902).



gime de la concession. La loi (1) distingue cinq régimes différents, dont le régime des concessions est déclaré d'utilité publique. Sous ce régime le droit de passage est le plus étendu.

Une déclaration d'utilité publique investit le concessionnaire, pour l'exécution des travaux dépendant de la concession, de tous les droits, que les lois et règlements confèrent à l'administration en matière de travaux publics.

S'il y a lieu, l'expropriation peut se faire au nom de l'autorité concédante.

En ce qui concerne l'emploi des routes aucune concession ne peut faire obstacle à ce qu'il soit accordé des permissions de voirie ou une concession à une entreprise concurrente.

En outre le concessionnaire est investi des droits suivants:

1° d'établir à demeure des supports et ancrages pour conducteurs aériens, soit à l'extérieur des façades ou murs, donnant sur la voie publique, soit sur les toits et terrasses des bâtiments;

2° de faire passer les conducteurs d'électricité au-dessus des propriétés privées;

3° d'établir à demeure des canalisations souterraines ou des supports pour conducteurs aériens sur les terrains non bâtis qui ne sont pas fermés de murs ou clotures équivalentes;

4° de couper les branches d'arbres qui pourraient occasionner de court-circuits ou des avaries aux conducteurs aériens. Les servitudes ci-dessus énoncées ne peuvent entraîner aucune dépossession; la pose d'appuis sur les murs ou façades ou sur les toits ou terrasses du bâtiment ne peut faire obstacle au droit du propriétaire de démolir, réparer ou surélever. La pose des canalisations ou supports dans un terrain ouvert ou non bâti, ne peut faire obstacle au droit du propriétaire de se clore ou de bâtir. Celui-ci sera seulement tenu de prévenir le concessionnaire un mois à l'avance par lettre recommandée, adressée au domicile élu par le dit concessionnaire, de son intention d'entreprendre des travaux. Les indemnités qui pourraient être dues à raison des servitudes, sont réglées en premier ressort par le juge de paix. En cas d'appel, le différent est tranché par le tribunal de première instance.

L'établissement des servitudes n'aura lieu qu'après enquête

(1) Loi du 15 Juin 1906 sur les distributions d'énergie.

spéciale dans chaque commune et doit être précédée d'une notification directe aux intéressés.

Italie. — En Italie (1) tout propriétaire est tenu de permettre le passage à travers ses terrains des conducteurs électriques aériens ou souterrains affectés permanemment ou temporairement aux usages industriels. Les habitations sont exemptées de cette servitude, exception faite des façades donnant sur les voies publiques, ainsi que les enclos et jardins.

Il ne pourra être fait obstacle au passage de ces conducteurs à travers les canaux, aqueducs et autres constructions, qu'en tant que ce passage causerait préjudice à leur emploi.

Celui qui veut faire passer des conducteurs électriques à travers la propriété d'autrui, devra démontrer de même l'utilité industrielle des travaux en vue et que le droit de passage demandé donne la meilleure solution et cause le moins de préjudice, aussi à l'égard des routes et propriétés adjacentes.

Les lignes électriques traversant les voies publiques ou cours d'eau, ou prenant appui aux façades des habitations donnant sur les voies publiques, sont soumises aux lois et règlements spéciaux sur les voies publiques et cours d'eau et aux prescriptions des autorités compétentes.

Espagne. — Le droit de passage a été créé en faveur des canalisations électriques aériennes ou souterraines par la loi du 23 Mars 1900 (2).

L'attribution du droit de passage au concessionnaire d'un transport d'énergie est délivrée par le ministre des travaux publics, quand les canalisations doivent emprunter les voies publiques ou cours d'eaux appartenant à l'État et dans les cas que ces canalisations viennent en contact avec les chemins de fer ou travaux publics, ou s'étendent sur le territoire de plus d'une province. Dans tous les autres cas le droit de passage sera délivré par le gouverneur de la province, dans laquelle la canalisation est projetée.

---

(1) Legge per la trasmissione a distanza delle correnti elettriche (7 Giugno 1894).

(2) Ley creando la servidumbre forzosa de paso de corrientes eléctricas (23 de Marzo de 1900).



La servitude du droit de passage peut être imposée à la priéte privée contre indemnité au propriétaire. Toutefois les habitations et les cours ou jardins fermés y attenant ne pourront être grevés de cette servitude. En outre le propriétaire sera exempté de la servitude du droit de passage dans les cas suivants :

1° quand il s'agit de terrains fermés et que le propriétaire peut démontrer que la canalisation électrique peut être construite sur la voie publique avec une déviation du tracé, qui entraîne un allongement de cette canalisation inférieure à 20 %;

2° quand il s'agit de terrains non fermés dans le cas que la déviation susmentionnée entraîne un allongement de la canalisation inférieur à 10 %.

La servitude de passage ne pourra faire obstacle au droit du propriétaire de fermer les terrains grevés de murs ou de clôtures ; le propriétaire sera toutefois tenu de respecter la servitude établie, aussi à l'égard de l'entretien des canalisations électriques.

Autriche. — Selon le projet de loi Autrichien (1), le droit de passage pourra être accordé aux transmissions électriques de l'énergie, autorisées. L'autorisation ne sera délivrée qu'après enquête, enquête qui devra démontrer que l'intérêt général ne s'oppose pas à la construction du transport d'énergie projeté.

Le droit de passage comprend le droit de faire usage des voies et cours d'eau publics pour la pose des canalisations et en outre le droit de faire passer les lignes de transmission au-dessus de la propriété privée, d'ériger des appuis sur les terrains non fermés et de poser des cables dans les terrains non cultivés. Le propriétaire des terrains grevés de la servitude de passage devra permettre les travaux de construction et d'entretien.

Les Communes ne pourront faire opposition au passage des lignes de transmission d'énergie, que dans le cas qu'elles exploitent une station centrale, ou que la production et la distribution de l'électricité a été concédée antérieurement à la promulgation de la loi. Dans ces deux cas les Communes pourront interdire

(1) Gesetzentwurf betreffs die Einraumung von Benützungsrechte für Electrische Leitungen an Kommunicationem und an fremden Eigentum und die Genehmigung von Starkstromanlagen.

l'emploi des routes communales au passage des conduites étrangères durant une période de soixante années comptant à partir de la mise en marche de la station centrale communale, soit de la date de concession.

Hollande. — Dans certains cas l'application de la loi existante, concernant l'expropriation dans l'intérêt général, pourrait assurer le droit de passage aux lignes de transmission électriques, à travers la propriété publique ou privée. Ce procédé, qui exige pour chaque cas la promulgation d'une loi spéciale, déclarant les travaux en vue d'utilité publique, est nécessairement lent et dispendieux; le nombre de cas dans lesquels il peut être appliqué est, comme il a déjà été observé, limité.

Le présent projet de loi (1) permet de grever la propriété publique et privée d'un droit de passage en faveur des installations électriques, pour lesquelles il a été déclaré, que l'intérêt général ne s'oppose point à leur érection.

Cette déclaration est délivrée au demandeur, après enquête, par la députation provinciale, dans certains cas par la Reine, sous les conditions jugées nécessaires dans l'intérêt général.

Sans préjudice à l'indemnisation due au propriétaire, grevé de la servitude de passage, celui-ci est tenu de permettre au possesseur de la déclaration précitée:

a) d'ériger et de pourvoir à l'entretien des conducteurs électriques aériens ou souterrains dans les terrains publics ou privés non bâtis, exception faite des terrains attenant immédiatement aux habitations et des terrains fermés;

b) de fixer des attaches ou ancrages aux bâtiments en tant qu'une autre exécution des travaux serait impossible ou difficilement exécutable.

Le possesseur de la déclaration a en outre:

1° le droit, sauf obligation d'indemnisation, d'exiger des propriétaires d'élaguer les arbres qui empêcheraient l'érection des lignes, ou pourraient occasionner des perturbations.

2° le droit d'accès pour les agents chargés de la construction et l'entretien des lignes. Néanmoins ces agents ne pénètreront point dans les habitations ou jardins clôturés contre la

(1) Electriciteitswet.

volonté de l'habitant, que sur présentation d'un ordre écrit, délivré par l'autorité compétente.

D'autre part le projet de loi stipule, que l'érection des installations électriques et de lignes de transmission ne pourra en aucun cas distraire de leur destination les terrains publics ou privés et devra causer le moins de préjudice possible à leur emploi.

A cet effet l'établissement des ouvrages (pose des canalisations souterraines, des supports pour conducteurs aériens, des ancrages ou attaches aux bâtiments, etc.) n'aura lieu qu'après entente préalable avec les propriétaires concernés.

En cas de non entente le différend entre les propriétaires et le permissionnaire sera tranché par la députation provinciale, après confrontation des parties.

La servitude de passage n'entraîne aucune dépossession. Le propriétaire désirant bâtir ou exécuter des travaux pourra obtenir le déplacement des installations électriques empruntant sa propriété.

La députation provinciale, organe auquel il compète d'ordonner le déplacement, a la faculté d'exiger du propriétaire requérant de fournir des garanties convenables, que les travaux nécessitant le déplacement des installations électriques seront exécutés réellement.

Lignes préexistantes.

Le voisinage immédiat de différentes lignes, soit que celles-ci soient affectées aux communications télégraphiques et téléphoniques, soit à la transmission électrique de l'énergie et que ce voisinage consiste en un croisement ou un parallélisme sur un parcours plus ou moins étendu, nécessite généralement des mesures de protection ou des déplacements afin de prévenir les accidents et les perturbations.

Les questions auxquelles donne lieu la protection des lignes préexistantes, soit leur déplacement, et la répartition des frais résultant de ces mesures, ne trouvent pas une solution uniforme dans les différentes législations.

Ainsi quelques législations admettent qu'une ligne préexistante n'aura point à supporter les frais de déplacement ou de mesures

de protection, devenus nécessaires par le fait de la construction ou mise en exploitation d'une nouvelle ligne, tandis que d'autres législations repartissent les frais selon une formule arbitraire entre les entreprises dont les lignes viennent en conflit.

Allemagne. — Bien qu'en Allemagne une loi concernant les transmissions électriques de l'énergie n'a pas été promulgée, la question des lignes préexistantes a déjà été tranchée par la loi réglant les services télégraphiques (1) et la loi concernant les lignes télégraphiques (2), en tant qu'il s'agit du voisinage des lignes télégraphiques ou téléphoniques et de lignes affectées à la transmission électrique de l'énergie, dans ce sens, que les déplacements ou mesures protectrices nécessaires seront aux frais de la partie, qui par une installation postérieure ou par une modification de son installation existante aura nécessité le déplacement ou les mesures protectrices.

Suisse. — En Suisse il n'y a pas lieu de rechercher laquelle des lignes entrant en conflit a été établie la première, ou sur quelle ligne ont été apportés des changements ou ont été appliquées des mesures de sécurité.

La répartition des frais se fait sur les bases suivantes:

1° Lorsqu'il s'agit d'une ligne à faible courant affectée à un service public ou au service des chemins de fer se rencontrant avec une autre ligne électrique, les frais seront pour les $^2/_3$ à la charge de cette dernière et pour $^1/_3$ à la charge de la première.

2° Lorsque des conduites à fort courant se rencontrent entre elles ou avec des lignes privées à faible courant, les frais se répartissent en proportion de l'importance économique des entreprises.

3° L'adjonction du double fil et de tout genre de conduites de retour, isolées de la terre, est exclusivement à la charge de la Confédération.

France. — Les relations des lignes de distribution nouvelles

---

(1) Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reichs vom 6en April 1892, § 12.

(2) Telegraphenwege Gesetz vom 18en December 1899, § 5.

et des lignes préexistantes sont réglées en France par le décret du 3 avril 1908 (1).

Les articles 54 et 55 du dit décret stipulent entre autre que les travaux de modification de toute nature qui seraient à faire dans une concession préexistante et tous les ouvrages résultant de la traversée seront à la charge du permissionnaire ou concessionnaire de la distribution nouvelle.

Le concessionnaire ou permissionnaire d'une distribution d'énergie ne pourra s'opposer aux modifications de ses propres installations, prescrites par le Ministre des travaux publics, si celles-ci sont nécessaires pour l'exécution de travaux publics, routes, voies ferrées, canaux, communications télégraphiques ou téléphoniques, distribution d'énergie, etc. Il lui est d'ailleurs dû une indemnité. En outre toutes les dispositions nécessaires seront prises pour que les modifications, ainsi imposées par l'administration, n'apportent aucun obstacle au service de la distribution d'énergie préexistante.

Autriche. — Le projet de loi Autrichien admet en général que les frais de déplacement d'une ligne préexistante ou les mesures de protection spéciales devenues nécessaires par le voisinage d'une nouvelle ligne seront à la charge de cette dernière. Quand il s'agit de la construction d'une ligne de l'État, le déplacement de la ligne préexistante ou bien les mesures protectrices seront exécutés au frais de l'État, sauf le cas que la ligne préexistante est située sur une route domaniale (2) de l'État, dans lequel cas le concessionnaire de la ligne préexistante devra supporter tous les frais.

Hollande. — Le projet de loi Hollandais admet en principe, que les frais de déplacement d'une ligne préexistante, soit des mesures de sécurité nécessitées par l'érection d'une nouvelle ligne, seront à la charge de cette dernière. Néanmoins si l'état insuffisant de la ligne préexistante aura nécessité la prescription de mesures de sécurité et dans le cas et en tant que

(1) Décret du 3 avril 1908 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 15 juin 1905 sur les distributions d'énergie.

(2) Aerarischen Reichsstrasse.



l'exécution de ces mesures aura amélioré la ligne préexistante, celle-ci devra en supporter les frais, soit partiellement, soit en totalité.

Recours, solution des conflits, nécessité d' un organe compétent.

Les conditions techniques, auxquelles devront satisfaire les distributions d'énergie contenues dans les différents arrêtés ou décrets découlant de la loi, ne pourront prévoir tous les cas. Aussi faudra-t-il éviter d'entrer dans des prescriptions trop détaillées, qui pourraient entraver la libre expansion de l'industrie des transports d'énergie.

En outre là où il s'agit d'édicter des prescriptions, concernant des mesures de sécurité ou des mesures destinées à prévenir des perturbations, on ne pourra souvent qu' établir des principes; l'exécution des détails variera forcément d' un cas à l'autre. Il s'ensuit qu'une application rigide des prescriptions en vigueur ne sera pas toujours possible et que dans certains cas il sera nécessaire de donner des prescriptions supplémentaires. Finalement il faut tenir compte que les progrès de l'électrotechnique nécessiteront fréquemment une revision des prescriptions.

La revision de ces prescriptions techniques et la conception de prescriptions nouvelles ou complémentaires ne peuvent incomber qu'à un organe compétent.

La création d'un tel organe s'impose également quand on se rend compte d'une part qu'il faut prévoir un recours pour trancher les divergences, qui peuvent s'élever entre le service du contrôle des transmissions d'énergie et cette industrie, que d'autre part il faudra donner une solution aux conflits possibles des différentes entreprises de transport d'énergie entre elles, soit de celles-ci avec les services affectés à la transmission des signaux et de la parole, ou avec d' autres intéressés et que l' origine de ces divergences ou conflits sera généralement de nature technique.

Cet organe a été prévu entre autre dans la législation Suisse et dans la loi Française et dans le projet de loi Hollandais.

Suisse. — L'article 19 de la loi fédérale Helvétique institue une commission des installations électriques, composée de sept

membres et comprenant des représentants de la science électrique et de la technique des installations à fort et à faible courant.

Cette commission préavise:

1° sur les prescriptions du Conseil fédéral concernant l'établissement et l'entretien des installations électriques;

2° sur les questions que cette autorité est appelée à trancher (classification des installations, délais et modifications de prescriptions, différends concernant l'application de mesures de sécurité, recours contre les services de contrôle, divergences entre les différents organes de contrôle, recours contre l'opposition des Communes à la traversée des distributions d'énergie, demandes d'indemnité, etc.).

France. — L'article 20 de la loi sur les distributions de l'énergie prévoit la formation d'un Comité d'électricité dont le fonctionnement a été réglé par le décret du 7 février 1907.

Ce Comité, comptant 30 membres, se compose pour une moitié de représentants professionnels français des grandes industries électriques et pour l'autre moitié de membres pris dans les administrations (Intérieur, Travaux publics, Commerce, Industrie et Agriculture, Postes et Télégraphes et Guerre).

Ce Conseil donnera son avis dans tous les cas prévus par la loi et sur toutes les questions dont les ministres intéressés la saisiront (Approbation des projets, différends concernant l'exécution de projets, contestations entre le Service du contrôle et l'Administration des Postes et Télégraphes, conditions générales ou d'intérêt public auxquelles devront satisfaire les ouvrages servant à la distribution d'énergie, mesures relatives à la police et à la sécurité de l'exploitation des distributions d'énergie, conditions techniques auxquelles devront satisfaire les distributions d'énergie au point de vue de la sécurité des personnes et des services publics intéressés, etc.).

Hollande. — Le projet de loi prévoit la création d'un " Conseil d'Électricité „ (1), organe dont les attributions sont de beaucoup plus étendues que celles du Comité d'Électricité en France ou de la Commission des installations électriques en Suisse.

Ce Conseil préavisera le ministre, chargé de l'exécution de la

(1) Electriciteitsraad.

loi, relativement à toutes les prescriptions, décrets ou arrêtés qui seront édités en vertu de cette loi. Il sera de sa compétence de faire des propositions relatives à tout sujet regardant la loi et en outre de donner des prescriptions supplémentaires dans différents cas.

Ainsi le Conseil d'électricité donnera à la requête du chef du service du contrôle, ou du représentant d'une entreprise de transport électrique d'énergie, les prescriptions nécessaires en vue de parer ou de prévenir les dangers ou perturbations occasionnés par le voisinage d'installations ou de lignes électriques existantes, ou qui pourraient résulter de l'érection, de l'extension ou de la modification d'une installation soit d'une ligne de transmission électrique.

Dans le cas qu'il ne serait point donné suite à ces prescriptions, ou qu'elles n'auraient été exécutées qu'incomplètement, le Conseil d'électricité peut ordonner à l'agent du contrôle concerné de faire cesser incontinent le danger ou la perturbation en faisant modifier et même au besoin en faisant couper la ligne cause du danger ou de la perturbation, soit en faisant arrêter le service dans la station génératrice et en y apposant des scellés.

En outre le Conseil d'électricité sera revêtu de compétences juridiques.

En premier lieu cet organe décidera en dernier recours les constatations et réclamations auxquelles pourront donner lieu les mesures ordonnées par les agents du contrôle.

En second lieu le Conseil l'électricité est appelé à juger les conflits éventuels entre les différentes entreprises de transmission d'énergie, qui par leur voisinage pourraient se causer des dommages ou des perturbations.

Responsabilité.

La loi sur les transmissions électriques de l'énergie doit-elle contenir des prescriptions spéciales relatives à la responsabilité?

Les législateurs ont répondu différemment à cette question.

D'une part on a cru devoir fair exception au droit commun à cause des dangers que présentent les transmissions de l'énergie; d'autre part on a considéré que la loi veille, au moyen de pres-

criptions rigoureuses, à ce que la construction de ces transmissions donne toutes les garanties de sécurité nécessaires, que, celles-là une foi établies, un contrôle sévère garantit que leur entretien ne laissera rien à désirer et que par conséquent les dangers auxquels pourraient être exposées les personnes et la propriété sont tellement atténués, qu'il n'y a pas lieu d'intervertir l'obligation de fournir la preuve en défaveur des entreprises de transmission de l'énergie.

Suisse. — La loi fédérale contient, entre autres, les dispositions suivantes concernant la responsabilité.

Lorsqu'une personne a été tuée ou blessée par l'exploitation d'une installation à fort ou à faible courant, l' exploitant est responsable du dommage causé, à moins qu'il ne prouve que celui-ci est dû, soit à une force majeure, soit à la faute ou à la négligence d'un tiers, ou enfin à la faute lourde de celui qui a été tué ou blessé.

La même responsabilité existe en ce qui concerne les choses, à l'exception toutefois des perturbations de l'exploitation.

Lorsque les dommages se produisent par le contact des différentes lignes électriques, les entreprises en sont solidairement responsables.

France. — Le législateur français n'a pas trouvé lieu de créer des dispositions spéciales à la responsabilité civile dans la loi sur les transmissions électriques de l'énergie.

Autriche. — En Autriche, au contraire, le législateur paraît enclin à des vues entièrement opposées. Ainsi le projet de loi déjà cité ne tient point compte, qu'il y a des circonstances de force majeure qui logiquement limitent toute responsabilité. Pour citer un exemple : les entreprises de transport d'énergie seront tenues responsables de tout dommage aux personnes, aux animaux et à la propriété, même dans le cas où l'accident dommageable aurait été entraîné par une cause météorologique.

Hollande. — Le projet de loi Hollandais ne contient point de dispositions spéciales relatives à la responsabilité.

Nous terminons ici notre rapide aperçu. Notre étude, si sommaire qu'elle soit, nous a permis de constater en outre que fort peu de pays possèdent une législation complète concernant les transmissions électriques de l'énergie, et que dans la majeure partie des autres pays seulement des mesures de sécurité et des conditions techniques intéressant la construction des lignes électriques ont été fixées par voie d'arrêtés ou de décrets.

Bibliographie.

WENGLER, *Electricität und Recht in Deutschen Reich.*

Dr. E. BUDDE, *Energie und Recht.*

EDMOND HIRSCH, *Législation et jurisprudence administrative concernant l'électricité dans ses différents usages.*

M. LABOUREUR, *Précis de législation de l'électricité.*

Dr. A. KRASNY, *Die Aufgaben der Electricitätsgesetzgebung.*

Discussion voir à page 933.

La législation sur la transmission électrique de l'énergie.

Rapporto sul Tema N. 29 del Congresso.

Relatore E. C. Ericson (Stockholm)

Ingénieur, Inspecteur des installations électriques à l'Administration Royale du Commerce et de l'Industrie.

Comme on le sait la transmission de l'énergie électrique se divise en deux catégories:

1. *transmission à courant faible*, pour des signaux ou de la parole, etc.;

2. *transmission à courant fort* pour l'éclairage, la force motrice, le chauffage, etc.

C'est seulement la dernière catégorie que nous considérons ici, en excluant cette matière qui ne concerne que les moyens de transportation (tramways électriques, etc.).

Le but de ce bref résumé sera d'exposer ce qui a été l'objet de la législation ou de la réglementation en les divers pays et d'attirer l'attention sur quelques points d'intérêt; il ne s'agit pas donc d'une analyse juridique des questions touchées.

La transmission à courant fort date du commencement de 1880. Presque au même temps l'activité législative s'est manifestée en ce domaine et dans les 30 ans passés elle a produit une quantité considérable de législation d'une matière et d'une qualité variable.

La législation électrique ne s'est pas développée d'après des principes distincts, cependant la matière peut être classifiée en certains groupes.

Sécurité et contrôle.

Entre les trois parts principaux d'une transmission électrique — l'usine générateur, les lignes et les installations d'utilisation — c'était naturellement les lignes qui attiraient d'abord l'intérêt des pouvoirs publics. Dans la plupart des pays on trouve assez tôt des réglementations administratives en vue de sauvegarder le public des dangers des conducteurs traversant les voies publiques et d'éviter des troubles aux lignes télégraphiques.

Les autorisations ou les permissions données se référaient ordinairement aux traversées par les conducteurs électriques des voies publiques, des chemins de fer ou des lignes télégraphiques et elles n'étaient en effet que des prescriptions de sécurité.

En général le contrôle technique fut exercé d'abord par des fonctionnaires des administrations des télégraphes. Avec le développement de la technique à courant fort, des services spéciaux ont été institués pour ce but.

Les prescriptions de sécurité pour les ouvrages intérieurs sont d'une date plus récente. Elles ont émané le plus souvent des compagnies d'assurance contre l'incendie ou des associations électrotechniques. En certains pays le gouvernement ne s'est point engagé de ces choses jusqu'ici.

Responsabilité de dommage.

La responsabilité de dommage occasionné par le courant fort frappe généralement à l'exploitant. Il est aussi chargé de toutes les modifications nécessaires aux lignes préexistantes. Quelquefois pourtant, les lignes à courant faible préexistantes y sont tenues à partager des dépenses (par ex. en Suisse).

Expropriation, utilisation des voies publiques.

D'ordinaire le besoin d'un droit d'emprunter les terrains privés et les voies publiques a été l'impulsion essentielle à la propre législation électrique. Ce droit a été accordé dans une étendue et sous des conditions très différentes et en maint pays la réalisation ou l'extension des possibilités de cette nature est toujours un vœu important aux exploitants (Allemagne, Angleterre,

Autriche). Evidemment les intérêts des communes et des exploitants privés diffèrent souvent quant au droit d'emprunter les domaines communaux.

Fourniture d'énergie.

En conséquence des bénéfices obtenus par le droit d'expropriation et en vue de l'importance des distributions électriques pour la communauté il s'est présenté des questions relatives à l'influence des pouvoirs publics sur la vente d'énergie. Parmi les questions de cette nature sont celles concernant:

la mesure d'électricité (unités, compteurs);

la fourniture obligatoire d'énergie en certains territoires;

la fixation des tarifs maximum;

la limitation de la durée des concessions et le rachat des ouvrages;

la compétence des communes relative à la délivrance des concessions, etc.

Parmi les diverses législations l'une a laissé toutes les conditions commerciales au soin des parties intéressées (privés, communes) et l'autre a donné à l'État un contrôle plus ou moins étendu (Angleterre, France, etc.).

Impôt sur l'énergie.

Un impôt direct à l'État sur l'énergie électrique on ne le trouve qu'en quelques endroits (Espagne, Italie). Un impôt indirect (sur les lampes à incandescence, etc.) on le rencontre en Allemagne.

Par la voie indirecte un impôt est souvent levé sur l'énergie par les communes, soit en fixant les tarifs des entreprises communales, soit sous forme des diverses obligations imposées à l'exploitant privé. Quant à cela on peut observer qu'en France toutes les charges pécuniaires imposables à un concessionnaire sont fixées par la loi électrique (1906). Pourtant il semble que des charges beaucoup plus hautes peuvent être imposées par convention en dehors de cette loi (par ex. comme loyer des canalisations communales).

Comme une curiosité on peut noter que la ville de Brünn

(Moravie) a imposé une contribution à la ville de 1,05 c. par kw-h sur l'énergie utilisée pour l'éclairage électrique, soit qu'elle soit fournie de l'usine communale ou des usines privées.

Comités d'électricité.

A mesure que les questions électriques ont acquis une importance considérable on a institué en plusieurs pays des comités ou des commissions d'électricité auprès du département chargé de ces affaires. Tels comités ont en général un caractère consultatif et ils se composent de fonctionnaires des administrations et d'industriels. On les trouve par ex. en Belgique, Danemark, France, Norvège et Suisse.

Afin de donner une idée des législations électriques de quelques pays nous indiquons ci-après la matière de leurs lois et de leurs règlements les plus importants ou récents. Parmi les exposés d'un caractère analogue nous observons un rapport par M. Ducreux au Congrès International de l'Électricité à Marseille 1908.

Allemagne.

Loi du 1er juin 1898 fixant les unités électriques et autorisant le gouvernement de régler le contrôle des instruments à mesure. Ce contrôle (arrêté du 6 mai 1901) est exercé par le " Physikalisch-Technische Reichsanstalt „. Jusqu'ici les écarts tolérables des compteurs électriques sont fixés; les compteurs sont soumis à un examen à l'égard du type par le dit laboratoire.

Loi du 9 avril 1900: punition de vol ou de détournement d'énergie électrique.

Loi de 1909 concernant l'impôt, entre autre, sur les lampes à incandescence — à partir de 5 et 10 Pfg. la pièce pour filament de charbon ou métallique resp. — et sur les charbons des lampes à arc (60-100 Pfg. par kg.).

On a fait des efforts depuis longtemps d'obtenir une loi donnant le droit d'emprunter les voies publiques et d'exproprier des terrains privés (Wegegesetz), mais sans résultat jusqu'ici.

Sans être obligatoires, les prescriptions de sécurité très complètes de l'association " Verband Deutscher Elektrotechniker „ sont généralement observées.

Les différents États de l'Empire ont aussi leur propre législation, dont nous citerons ce qui suit:

Prusse.

Loi de 1905 autorisant le gouvernement de charger à l'exploitant d'une entreprise électrique tous les frais d'une surveillance technique de son exploitation. On a rédigé un avant-projet relatif à l'organisation d'un pareil contrôle, d'une extension dont la nécessité ou l'utilité ont été très doutées de la part des industriels. La question n'est pas encore décidée.

Divers règlements administratifs concernant des mesures de sécurité et de police portant sur la construction des lignes électriques (traversée et perturbation des lignes télégraphiques 1908 et 1910; traversée des forêts de l'État 1910 en vue de prévenir l'incendie, etc.).

Wurtemberg.

Arrêté du 17 mars 1910 sur les installations à courant fort, donnant le régime d'autorisation et les prescriptions techniques à observer. Permissions d'emprunter les voies de l'État sont accordées gratuitement, mais sont révocables à toute époque; s'il s'agit des autres voies publiques ou des terrains privés, le seul recours à faire c'est une traite à l'amiable avec le propriétaire.

Autriche.

Loi de 1900 légalisant les unités électriques et arrêté du 21 décembre 1903 concernant l'approbation et le poinçonnage des compteurs électriques.

Du reste on ne trouve que des règlements ministériels relatifs à la sécurité des installations. Les prescriptions de sécurité sont élaborées par l'association " Elektrotechnischer Verein " à Vienne.

Pourtant on a fait des efforts pour faire passer un droit d'expropriation tant de la part de l'administration que de l'industrie.

En 1906 un projet d'une telle loi fut déposé par le gouvernement, mais il ne fut pas voté par les Chambres. Après des enquêtes auxquelles ont pris part les représentants des communes et des exploitants, etc., un nouveau projet a été élaboré en 1908 par le Ministre compétent. La question est encore ouverte.

Belgique.

Loi du 30 octobre 1903 légalisant les unités électriques et portant sur la vérification des instruments de mesure électrique. Le contrôle des compteurs prévu de cette loi n'est pas encore en vigueur.

Un avant-projet d'une loi des distributions électriques élaboré en 1907 n'est pas encore adopté. L'utilisation des voies publiques est accordée par le pouvoir en charge de l'entretien. Il n'existe pas un droit d'exproprier des terrains pour les entreprises électriques. Les installations électriques dans les usines et dans les mines sont soumises respectivement au contrôle de l'inspection du Travail et de l'Administration des mines.

Arrêté du 8 mars 1906, instituant une Commission d'électricité (15 membres) auprès du département de l'Industrie et du Travail. Un Comité de sécurité donne des prescriptions à cet égard pour les installations.

Danemark.

Loi du 19 avril 1907 sur les installations électriques à courant fort. Il est institué un comité d'électricité qui aura à traiter toutes les questions électriques et à exercer le contrôle des installations qu'il trouve dangereuses. Le droit d'emprunter des rues, des voies et des chemins de fer est accordé, aussi que le droit d'exproprier des terrains privés pour les ouvrages de distribution. La jouissance des voies publiques est limitée à une durée de 40 ans au maximum et les communes y peuvent s'opposer en cas où elles s'engagent à établir elles-mêmes une pareille distribution.

La loi n'entre pas sur les conditions commerciales des entreprises.

Arrêté du 24 août 1908 sur les prescriptions de sécurité.

Arrêté du 11 août 1909 concernant les épreuves à qui seront soumises les personnes (monteurs, etc.) désirant exécuter des

ouvrages électriques dangereux. Cette question relative à la compétence du personnel semble mériter attention. Évidemment un personnel instruit et d'expérience rend superflu beaucoup de prescriptions et de surveillance.

Espagne.

Loi du 23 mars 1900 sur l'utilisation des terrains publics et privés pour les distributions électriques. Un droit de se procurer les servitudes nécessaires est accordé, après déclaration d'utilité publique, par le Ministre des travaux publics, s'il s'agit des domaines d'État, en d'autres cas par le gouverneur.

Décret du 7 octobre 1904 donnant le régime auquel sont soumises les questions de concession d'une transmission ou d'une distribution électrique et aussi les prescriptions techniques à satisfaire.

Décret du 7 octobre 1904 et du 8 juin 1906 concernant les compteurs d'électricité et de gaz. Ils sont approuvés à l'égard du type et en outre chaque compteur est vérifié. On peut noter qu'il est exigé sur l'énergie électrique un impôt dont le montant est fixé de temps en temps de la loi de budget de l'État. Sur ce sujet il y a plusieurs lois et décrets.

États-Unis.

La loi de 1894 légalisant les unités électriques paraît être la seule loi fédérale portant sur l'usage d'électricité.

Généralement adoptées sont les prescriptions dites les " National Electrical Code „, élaborées par des associations techniques et des compagnies d'assurance.

Afin de réaliser des méthodes uniformes et sûres pour les installations électriques dans les mines, le " Bureau of Standards „ (au département de l'Intérieur) a publié (1910) un avant-projet des règles qu'il importe à observer dans les installations de ce genre.

Les différents États de la république ont leurs propres législations électriques plus ou moins complètes. Quelques États ont établi, les dernières années, des " commissions de service public „ à qui a été assignée une compétence très étendue relative au contrôle des exploitations d'une utilité publique, c'est-à-dire les

moyens de transportation et les distributions d'eau, de gaz et d'électricité. Des commissions de ce genre, consistant de 3-5 membres nommés par le gouverneur et d'un personnel nécessaire, traitant des questions électriques, se trouvent en Massachussets (depuis 1887); Maryland (1910); New-York (1907); New-Jersey (1911); Vermont (1909); Wisconsin (1907). C'est le devoir de ces commissions de surveiller les entreprises tant aux conditions commerciales qu'à l'exécution technique des travaux. Elles délibèrent relativement aux exploitations électriques, par exemple sur les questions suivantes: la capitalisation permissible; la comptabilité; les tarifs; le régime des compteurs; les plaintes des consommateurs; les accidents, etc. Leurs décisions sont définitives sauf recours aux tribunaux supérieurs. Ce qu'on observe dans les lois réglant le pouvoir de ces commissions c'est la tenue générale du texte, faisant leur exécution essentiellement dépendante du jugement personnel des exécuteurs. Les propres personnes trouvées, voilà peut-être une méthode pratique à traiter des questions qui ne se font guère résoudre par quelques paragraphes de loi.

Les commissions publient des rapports annuels très extensifs sur leurs travaux.

Finlande.

Loi du 11 avril 1901 sur les installations électriques, exigeant une autorisation et un contrôle pour les installations où l'on fait usage de courants dangereux. En cas d'utilité publique le droit d'expropriation est accordé.

Décrets du 11 avril 1901 sur le régime d'autorisation et du 17 avril 1902 sur les conditions techniques et sur le contrôle annuel dont les frais incombent à l'exploitant.

France.

Loi 1894 sur les unités électriques.

Loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie électrique. Cette loi est une des plus récentes et des plus élaborées au sujet et nous l'examinerons un peu en détail. Elle classifie les distributions en 5 catégories soumises aux régimes suivants:

a) Si la distribution n'emprunte pas des voies publiques:

1° sans aucune autorisation;

2° autorisation du Préfet si les conducteurs sont établis à moins de 10 mètres d'une ligne télégraphique.

b) Si la distribution emprunte des voies publiques:

3° permission de voirie sans durée déterminée, délivrée par le Préfet ou par le Maire et ne touchant pas aux conditions commerciales de l'exploitation;

4° concession sans déclaration d'utilité publique, et

5° concession avec déclaration d'utilité publique, dans tous les deux cas d'une durée déterminée et avec cahier des charges et tarif maximum.

La même distribution peut être soumise dans des communes différentes à l'un ou à l'autre des cinq régimes ci-dessus, suivant la demande de l'exploitant.

Une concession est délivrée soit par une commune ou par un syndicat de communes si la distribution ne vise que le territoire de ces communes, soit par l'État dans les autres cas.

La déclaration d'utilité publique est prononcée, s'il y a lieu, par un décret délibéré en Conseil d'État. Cette déclaration investit le concessionnaire de tous les droits que les lois confèrent à l'administration en matière de travaux publics, par ex. les droits d'expropriation, de passage, d'appui et d'ébranchage. Faute d'une déclaration d'utilité publique, le seul recours est un arrangement à l'amiable.

Concernant une concession on note:

Elle ne peut pas faire obstacle pour des autres concessions; toutefois une commune peut accorder un monopole à une distribution d'éclairage (mais non pas de force motrice).

Elle (comme aussi une permission de voirie) ne peut imposer au concessionnaire aucune charge pécuniaire que des redevances pour l'occupation du domaine public fixées d'un décret administratif (v. décret 4).

Elle est soumise aux clauses d'un cahier des charges conforme à l'un des types approuvés par décret délibéré en Conseil d'État; chaque modification au cahier des charges type ne devient définitive qu'après avoir été approuvée, par un décret délibéré en Conseil d'État (v. décret 5).

La loi, en outre, contient diverses prescriptions communes à toutes les distributions, prévues d'être déterminées par des décrets administratifs dont nous citons ci-après les plus importants.

Il est aussi stipulé l'institution d'un permanent Comité d'électricité consultatif composé de 30 membres, d'où 15 fonction-

naires et 15 représentants de l'industrie. Il donnera son avis sur les questions électriques prévues par cette loi ou demandées par les Ministres intéressés (v. décret 2).

Le contrôle des distributions est chargé à un service de contrôle sous le Ministre des travaux publics (v. décret 3).

Décrets:

1° Instruction du 1er février 1907 relative à la traversée d'un chemin de fer par des conducteurs électriques (en partie abrogé par l'arrêté du 21 mars 1910).

2° Décret du 7 février 1907 concernant le fonctionnement du Comité d'électricité. Il se réunit obligatoirement trois fois par an. Les fonctions sont gratuites.

3° Décret du 17 octobre 1907 et circulaire du 15 septembre 1908 sur l'organisation du service de contrôle. Dans chaque département un ingénieur en chef assisté d'un nombre d'agents nécessaire exerce le contrôle des distributions concédées par l'État. Les entreprises concédées par les communes sont contrôlées par des agents municipaux soumis à la surveillance de l'ingénieur en chef du contrôle. Pour l'inspection des services de contrôle il y a des inspecteurs généraux.

Les frais de contrôle — frs. 5 - 10 par km. ligne par an — sont à la charge des concessionnaires.

Il faut remarquer que le dit contrôle (sous le Ministre des travaux publics) d'ordinaire ne s'étend qu'aux lignes de distribution, transformateurs, etc., mais que les usines de production et d'utilisation sont placées sous un autre contrôle (Ministre du travail) d'après le décret du 11 juillet 1907.

4° Décret du 17 octobre 1907 fixant les redevances pour occupation du domaine public. Ces redevances peuvent être calculées, soit d'après un taux annuel par mètre de ligne, aérienne ou souterraine (fr. 0,005 - 0,10), soit comme une partie (0,5 % - 10 %) des recettes brutes totales réalisées dans la commune. Les montants des redevances, entre les limites données, sont fixés d'après la population de la commune (4 catégories).

5° Décret du 3 avril 1908 sur la forme d'une demande de concession et la procédure de traitement. Après avis de l'ingénieur en chef de contrôle la demande est soumise aux conseils municipaux, à une commission d'enquête pour l'établissement des servitudes d'appui et de passage, etc.

6° Décret du 17 mai et du 20 août 1908 donnant le cahier des charges types pour une concession d'une distribution publique

d'énergie électrique, accordée par une commune ou par l'État respectivement. Les deux types sont à peu près identiques. Ces formulaires ont été dressés à couvrir la matière en question et à guider les parties intéressées. Étant en partie obligatoires, ils semblent limiter un peu la liberté d'action des communes.

En voici quelques points:

Chap. I. Objet de la concession; service spécifié, droit du passage, etc.

Chap. II. Travaux à exécuter; réseaux évent. inclusifs d'usines et de lignes de transport.

Chap. III. Tarifs (maximums), abaissements aux services publics; fourniture obligatoire; compteurs.

Chap. IV. Durée de concession au maximum 40 ans; reprise; rachat à toute époque après 2 ans préavis; déchéance, régie provisoire pour empêcher d'interruption de service.

7° Arrêté du 21 mars 1910 et instruction de la même date sur les conditions techniques auxquelles doit satisfaire une distribution.

Ces prescriptions de sécurité ne touchent pas aux installations intérieures. Pour des pareilles installations dans les usines il y a un décret du Ministre du travail du 11 juillet 1907, en outre des sociétés industrielles ont preparé en 1910 un code de telles prescriptions.

8° Arrêté du 13 août 1910 sur la réglementation des compteurs électriques.

Tous les types des compteurs pour la distribution publique d'énergie sont approuvés par des arrêtés ministériels après l'examen du Laboratoire Central de l'électricité à Paris et du Comité d'électricité.

Les documents énumérés ci-dessus sont les plus importants de la matière; en outre il y en a encore quelques-uns. En tout ils forment un petit volume.

Grande-Bretagne.

La législation anglaise se trouve dans: Electric Lighting Acts 1882, 1888, 1899 (clauses act), 1909 et loi sur les unités électriques 1894.

Elle s'est développée d'une façon bien différente aux autres. Ici l'État a pris tout d'abord un contrôle extensif de toutes les distributions d'énergie au public. Les dites lois contiennent des stipulations sur les concessions à obtenir, sur la punition de vol de l'électricité et de dommage fait aux distributions, etc.

Toutes les concessions d'une distribution (provisional orders) sont accordées par le " Board of Trade „ à condition d'être approuvées par le Parlement. Elles renferment un grand nombre de stipulations commerciales et techniques portant sur les intérêts publics et énumérés dans le clauses act 1899 (en 84 §§). En voici quelques-unes de ces conditions:

La capitalisation et les diverses dispositions financières de l'entreprise seront sujet d'approbation du Board of Trade.

La concession se réfère à un territoire déterminé où la fourniture d'énergie peut être obligatoire mais où un monopole d'utiliser les voies publiques pour ses canalisations est aussi en général accordé à l'exploitant.

L'autorité locale a la faculté de rachat de l'exploitation après 42 ans s'il n'a pas été autrement convenu.

Tarifs (maximums) sont revisés par le Board of Trade tous les 5 ans à la demande de l'exploitant ou d'un nombre (au moins 20) de consommateurs et en considérant la rentabilité de l'entreprise.

Aucune préférance n'est permise aux différents abonnés dans les mêmes conditions de consommation.

Droit d'expropriation de terrain pour l'exécution des usines (mais non pour les lignes) est accordé par le Board of Trade (1909).

Au Board of Trade est confiée l'exécution de ces lois et le contrôle des distributions au public et de leurs usines, aussi le pouvoir de rendre les règlements administratifs nécessaires pour cela. Parmi pareils règlements sont:

Les prescriptions relatives à la sécurité du public et à la fourniture d'énergie (nouvelle édition 1909); prescriptions relatives à des lignes électriques (1908); divers formulaires de la demande d'une concession, de la comptabilité, etc.

Des prescriptions pour les installations intérieures ont été élaborées par l' " Institution of Electrical Engineers „ et par les compagnies d'assurance, " The Phoenix Fire Office Rules „.

D'après la loi sur les unités électriques le Board of Trade laboratoire est institué. C'est là où sont examinés et approuvés à l'égard du type et de la construction les compteurs électriques pour l'usage public.

Les installations électriques dans les mines et dans les fabriques ne dépendent pas du Board of Trade, mais sont soumises au contrôle du département de l'Intérieur (Home Office), qui en a rendu des prescriptions de sécurité pour les mines 1905 et 1911 et pour les fabriques 1908 complétées d'un mémorandum par l'inspecteur 1910. Un rapport détaillé sur les accidents et leurs causes, etc., est rédigé annuellement.

La législation anglaise est caractérisée par une surveillance étendue de la part de l'État des entreprises tant privées que communales et aussi d'un certain conservatisme à l'égard des prescriptions techniques; ainsi il n'est que récemment qu'on a permis des lignes aériennes à haute tension. Par son caractère restrictif, par les dépenses élevées des procédures et par la considération d'ordinaire donnée aux avant-projets communaux on a avancé que la législation anglaise a fait obstacle au développement de la distribution d'énergie électrique. Pourtant la tendance de la législation dernière a été d'améliorer les conditions et on a indiqué que le prix de vente de l'énergie ne soit pas plus haut en Angleterre qu'ailleurs, plutôt au contraire.

Italie.

Loi du 7 juin 1894: donne aux exploitants le droit d'obtenir une servitude de passage sur tous les terrains traversés par les lignes électriques, aériennes ou souterraines, qui servent à un but industriel. La loi n'entre pas sur les questions commerciales de l'entreprise.

Décret du 25 octobre 1895 en exécution de la dite loi: traite le régime d'autorisation et les prescriptions à observer en empruntant les voies publiques et les chemins de fer, etc., par les lignes électriques.

Loi du 8 août et décret du 29 septembre 1895: se réfèrent à l'impôt à l'État sur l'énergie électrique. Un impôt de 6 centimes par kw-h est exigé sur l'énergie utilisée pour l'éclairage ou pour le chauffage électrique. De plus les communes, selon une loi du 23 janvier 1902, peuvent imposer un tribut jusqu'à 20 % de la valeur de cette energie.

Japon.

Loi du 29 mars 1911 sur les installations électriques: exige une autorisation ministérielle pour toutes les distributions électriques à l'usage public. Elle donne à l'exploitant le droit du passage sur les voies publiques et les terrains privés. Les tarifs maximums peuvent être fixés par le Ministre compétent, si l'intérêt public le demande.

Décret du 1902 dérogé en 1905: traite de diverses prescriptions relatives aux installations électriques.

Mexique.

Loi du 6 juin et décret du 16 novembre 1905: légalisent les unités électriques et donnent des prescriptions sur la vérification des instruments à mesure.

Norvège.

Loi du 23 juillet 1894: donne le droit d'expropriation pour les lignes électriques, quand il s'agit d'une entreprise d'un intérêt public.

Loi du 16 mai 1896 concernant la prévention de dangers dans les installations électriques: exige:

a) Prescriptions de sécurité délivrées par l'administration publique (nouvelle édition du 3 janvier 1908).

b) Concessions de l'État quand il s'agit d'une haute tension (plus que 500 et 250 volts courant continu et alternatif resp.). La durée de la concession n'est pas fixée et les conditions commerciales ne sont pas touchées.

c) L'institution d'un service de contrôle dont les frais sont à la charge de l'exploitant. D'après une instruction du 3 mars 1898, les frais consistent d'une somme fixée et des redevances annuelles à proportion de la puissance de l'usine.

d) L'institution d' un Comité d'électricité permanent de 3 membres.

Il faut observer qu'une loi très importante aux distributions électriques est celle-ci du 3 septembre 1909 sur l'acquisition des

chutes d'eau, etc., où est prescrite une reprise par l'État et sans remboursement de tous les ouvrages hydrauliques après 60-80 ans.

Russie.

Il n'y a pas encore en Russie une loi réglant la distribution d'énergie en général. Cependant on trouve des décrets spéciaux, par ex. en 1909 sur le contrôle des compteurs électriques et en 1910 et 1911 concernant l'énergie dérivée des sources de pétrole en Baku.

Suède.

Loi du 27 juin 1902 sur les installations électriques dérogée le 31 août 1907. Cette loi se compose de trois parties:

1° Le droit d'expropriation ou d'établir des lignes de transport (mais non autres ouvrages) sur des terrains publics et privés peut être accordé par le Conseil d'État, s'il s'agit d'une ligne concédée, ayant pour but la fourniture d'énergie à une commune ou à un établissement industriel d'une importance considérable. Ce droit ne s'étend pas pourtant aux rues et places publiques dans les villes; celles-ci ne peuvent être empruntées qu'avec le consentement du conseil municipal. L'indemnité due aux propriétaires privés pour le terrain occupé doit être calculée à une foi et demi la valeur vraie du dommage; une redevance annuelle peut être revidée après une période fixée par le tribunal.

2° Une concession délivrée par l'État est obligatoire pour des lignes aériennes (non souterraines) d'une tension dépassant 250 volts par rapport à la terre, qui s'étendent hors du domaine de l'exploitant. La durée d'une concession est limitée à 40 ans. Du reste elle contient principalement des prescriptions relatives à la sécurité et à la police de l'entreprise. Aucunes dispositions ne sont prévues pour assurer la continuité de l'exploitation à l'expiration de la concession.

3° La responsabilité du dommage occasionné par le courant électrique tombe au propriétaire du générateur d'où est venu le courant. La loi punit le vol de l'électricité.

Le décret du 31 décembre 1902 et un arrêté du 1r mars 1904 par l'Administration du Commerce et de l'Industrie traitent des

autorisations d'emprunter les voies d'État (accordées gratuitement) et donnent des prescriptions de sécurité et du contrôle des installations. Le contrôle des entreprises concédées est exercé de l'État par des inspecteurs qui sont en même temps chargés de la surveillance des mines, des tramways, etc. à l'égard aux ouvrages électriques dangereux. Les dépenses pour le contrôle sont défrayées par l'État presque tout à fait.

En Suède c'est très facile d'obtenir tous les droits nécessaires pour la construction des lignes de transport d'énergie. Aussi il n'y a pas autre frais à l'État pour une concession que le timbre (30 frs.).

Quelques vœux ont été émis en Suède les dernières années concernant la législation électrique.

1° De la part des consommateurs:

Qu'il faut trouver des garanties pour que les conventions de fourniture d'énergie soient remplies. Plusieurs communes et établissements industriels seront très embarrassés d'une interruption, occasionnée par une faillite de l'exploitant ou d'autre cause. On a proposé pour un remède d'hypothéquer les contrats de fourniture d'énergie sur les usines et sur les réseaux de l'exploitant, ce qui nécessite la dérogation de certaines lois existantes. Aussi a été proposé de sauvegarder les intérêts en question autant que possible par des stipulations appropriées dans les concessions.

De plus la question a été émise si, en certains cas, l'État doit avoir de l'influence sur le prix de vente d'énergie.

2° De la part des exploiteurs:

Que le droit d'expropriation doive aussi comprendre le terrain nécessaire aux postes de transformateur et aux sous-stations, etc., et que les frais au jury d'expropriation, qui peuvent même dépasser l'indemnité accordée au propriétaire, soient réduits.

Qu'une ligne électrique établie à demeure sur le fond d'un tiers soit considérée comme un immeuble afin d'être hypothécable en tout avec les autres immeubles de l'entreprise.

Suisse.

Loi du 24 juin 1902 sur les installations à courant faible et à courant fort.

Loi du 31 mars 1906. Le transport à l'étranger d'énergie d'une usine hydraulique n'est permis qu'avec une autorisation de l'État d'une durée de 20 ans à la fois au maximum.

Loi du 24 juin 1909 sur les unités électriques, prévoyant un contrôle des compteurs, qui n'est pas pourtant encore en vigueur.

La loi précitée de 1902 et divers décrets annexés sont bien connus de tous les intéressés. Cette loi donne de bonnes facilités pour la construction des distributions; elle ne touche pas aux conditions commerciales des entreprises. Voici brièvement le contenu:

Toutes les installations en dehors du domaine du propriétaire sont soumises à une autorisation délivrée par le département des Postes et Chemins de fer dans le cas où les chemins de fer soient empruntés et en autre cas par l'inspectorat des installations à fort courant. Le régime d'autorisation est réglé par un décret du 13 novembre 1903. La surveillance est aussi divisée entre le département et l'inspectorat qui est une institution organisée et dirigée par l'Association Suisse des Électriciens et subventionnée par l'État.

Une commission d'électricité consultative de sept membres est instituée.

Les prescriptions de sécurité, nouvelle édition 14 février 1908, concernant les installations tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, les traversées des chemins de fer, etc., sont décrétées par le Conseil fédéral; elles sont élaborées principalement par la dite association.

La responsabilité du dommage causé par le courant est réglée en détail. Le vol du courant est puni ainsi que l'endommagement des distributions.

Le droit d'expropriation de terrain public ou privé est accordé par le Conseil fédéral pour la construction des lignes et des postes de transformateur. L'utilisation des voies communales exige en général aussi le consentement des communes. Il est nommé dans tous les cantons un jury d'expropriation permanent de trois membres pour fixer les indemnités.



Les grands traits des diverses législations donnés ci-dessus ne peuvent rendre qu'une idée superficielle de leur vrai effet, qui dépend évidemment à haut degré des conditions dans les cas individuels. Les exploitations où il s'agit une fois de distribuer des milliers de chevaux sur des vastes territoires et une autre fois de construire un réseau d'éclairage dans un village sont évidemment influées d'une manière différente par le même paragraphe de loi. Une interprétation bureaucratique peut aussi donner à un règlement un contenu bien différent qu'une autre interprétation d'un caractère plus pratique.

Un fait qu'on ne doit pas négliger c'est que les distributions électriques se servent en plusieurs pays principalement d'énergie dérivée de " la houille blanche „. En ces cas la législation sur l'utilisation des chutes d'eau peut être aussi importante pour les entreprises que celles dont nous nous sommes occupés ci-dessus.

Enfin ajoutons quelques observations qu'on peut appliquer à la législation électrique.

Trop peu de législation vaut mieux que trop.

Le contrôle et la surveillance de l'État doivent se concentrer aux conditions où il y en a un besoin réel.

L'expérience pratique doit avoir une influence raisonnable en formulant des lois et des règlements.

Toute législation ou manque de législation ayant l'effet de renchérir l'énergie électrique réduit la possibilité de se servir d'un aide très important pour le développement de l'industrie et le confort de la communauté.

Discussion voir à page 933.

Die gesetzlichen Bestimmungen für die Erzeugung und Verteilung von elektrischer Energie in Oesterreich.

Rapporto sul Tema N. 29 del Congresso.

Relatore Dr. HEINRICH SCHREIBER (Wien).

Die meisten Kulturstaaten haben im allgemeinen über einen Mangel an Gesetzen nicht zu klagen; im Gegenteil, ein dichter Wald von stacheligen Drähten umgibt und regelt den ordentlichen Pfad unseres Erdenwallens, damit ja kein Schritt vom geraden Wege abgewichen werde. Und wenn auch in letzterer Zeit in Oesterreich die Gesetzgebungsmaschine teilweise stockte, das Parlament aufgelöst wurde und erst wieder erneuert werden musste, so dass demgemäss die Schaffung neuer Gesetze ein bischen in Unordnung geraten ist, so mag dies auf einzelnen Gebieten wie eine erwünschte Karenz- und Schonzeit gelten und manchenteils auch so empfunden werden. Denn schliesslich die Wahrheit des Satzes: " Es kommt selten etwas besseres nach „, bekundet sich auch hierin. Indessen ein solches Bedauern trifft nicht immer und in seiner Allgemeinheit zu. Es gibt tatsächlich von der Gesetzgebung sehr vernachlässigte Gebiete und zu diesen zählt gerade dasjenige, das unseren Fachgenossen am nächsten steht, nämlich jenes des Elektrizitätswesens. Wir von unserem Standpunkte beklagen dies nicht allein, weil die Materie in unseren unmittelbaren Interessenbereich fällt, sondern weil die Elektrizität als modernstes, stark begehrtes und hochwertiges Verkehrsgut für die nationale Wirtschaft ungeahnte

Leistungen hervorgebracht und sich unübertreffliche Verdienste erworben, zu ihrer Hebung bahnbrechend beigetragen, die Wohlfahrt des Landes und die Erwerbsmöglichkeiten im Vergleiche zu allen anderen Arbeitsbetätigungen unermesslich gesteigert hat. Die gewöhnlich gangbare und beliebte Ausflucht verfängt nicht mehr, die sich in der Behauptung gefällt, die Jurisprudenz sei nicht schuld an dieser Rückständigkeit, die Technik wäre vielmehr so rasch und impetuos vorwärts gestürmt, dass ihr die bedächtige und klug abwiegende Rechtswissenschaft nicht nachkommen konnte. Im Anfang mag dies ziemlich zugetroffen haben; da war wirklich die Entwicklung der Elektrizität und der mit ihr zusammenhängenden Industrie atemlos und überstürzt zu jener Zeit, da alles im Werden begriffen war, eine Erfindung die andere jagte, eine Errungenschaft auf die andere drängte. Längst aber hat sich die Gangart der Elektrizität verlangsamt, ihr Anlauf ist ruhiger geworden, die Verhältnisse haben sich consolidiert und das Beispiel vieler auswärtigen Staaten, in erster Linie der Schweiz und Italiens selbst belehrt uns, dass im Auslande ein glatterer Parallelismus zwischen Elektrizität und Gesetzgebung eingehalten wurde, dass dort die Wertschätzung der Elektrizität auch auf die Gesetzgebung übergegriffen und ihr vielfach den Anlass geboten hat, auch in diese wichtigen Verkehrs- und Handelsbeziehungen Klarheit und Ordnung zu bringen. Freilich an der Erkenntnis dessen hat es auch in Oesterreich nicht gefehlt. Man würde uns Oesterreichern unrecht tun, wollte man übersehen, dass sich auch hier die Erfahrung zum Durchbruche verholfen hat, dass die Regellosigkeit auf dem Gebiete des Elektrizitätsrechtes für die Dauer den wirtschaftlichen Interessen des Landes unwiedereinbringlichen Abbruch tue, der Entwicklung der Industrie beträchtliche Hemmnisse bereite und dass demnach eine Remedur unabweislich vonnöten sei. Bezeichnenderweise hat sich diese Einsicht auch in den Regierungskreisen befestigt, um indessen nach einem lebhaft begrüssten, ja acclamierten Elan wieder zu erlahmen. Doch wir wollen nicht den Ereignissen vorgreifen, wir wollen in diesem Berichte die Tatsachen sprechen lassen, und darum historisch aneinander reihen, was geschehen ist, was versäumt wurde und was darum zum Nutzen des Staates und seiner Bevölkerung schleunigst nachgeholt werden sollte.

Will man, dem vom Kongresse aufgestellten Thema getreu, die bei uns in Oesterreich geltenden gesetzlichen Bestimmungen

für die Erzeugung und Verteilung von elektrischem Strom in Erörterung ziehen, so muss man sich offenkundig in erster Linie um den Rechtsbegriff des elektrischen Stromes bekümmern und erwägen, ob und in wie weit sich dieser Begriff überhaupt in das herrschende Rechtssystem einfügen lässt. In dieser Hinsicht teilt die Rechtsbildung das Schicksal der naturwissenschaftlichen Hypothesen selbst. Um die physikalische Natur der Elektrizität wogen die Meinungen; eine endgiltige Definition ist zunächst noch nicht festgestellt und umschrieben. Ebenso weit ist die Rechtswissenschaft davon entfernt, den rechtlichen Karakter der Elektrizität bündig zu erfassen. Das Privatrecht, wie es sich in unserem hundert Jahre alt gewordenen Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuche repräsentiert, versagt in dieser Beziehung vollends. Der elektrische Strom lässt sich unter den üblichen Sachbegriff nicht unterordnen und da grundsätzlich Gegenstände von Rechten nur Sachen und zwar körperliche Sachen oder Rechte sein können, so muss der Rechtsbegriff der Elektrizität ins Leere fallen, es sei denn, dass man die Elektrizität per analogiam und als Energiephänomen zum Gegenstande von Rechten macht und so versucht, sie auf diesem Umwege in den Schooss der Gesetzgebung und in ihre Nomenklatur aufzunehmen. Ich möchte hier vom Standpunkte des österreichischen Rechtes vor Allem auf eine geistvolle Studie aufmerksam machen, welche Dr. Vincenz Jahuda in der Allgemeinen Osterreichischen Gerichtszeitung Nr. 30 bis 32 ex 1909 unter dem Titel veröffentlicht hat: " Kann Energie Rechtsobjekt sein? „. Diese Studie lehnt sich an das bekannte Buch des Schweizers A. Pfleghart " über die Elektrizität als Rechtsobjekt „ an und sie kommt zu dem Schlusse, dass die weite Fassung des Sachbegriffes, wie er im § 285 A. B. G. B. mit der Definition gegeben ist: " alles, was von der Person unterschieden ist und zum Gebrauche der Menschen dient, wird rechtlich Sache genannt „, den Vorteil und die Möglichkeit bietet, dass auch die Energie im Systeme des Gesetzes untergebracht werden kann. Hiernach hält Jahuda die Energie nach positivem österreichischen Rechte für eine Sache und zwar nach den §§ 292 bis 293 des A. B. G. B. für eine bewegliche und körperliche Sache. Indessen allzu vertrauensseelig ist der Autor dieser Studie selbst nicht. Zurückhaltend spricht er lediglich die Erwartung aus, dass erst eine Novellierung des Privatrechtes für diese Neuerungen der mo-

dernen Technik die richtige und befriedigende Lösung finden wird, so dass das Ergebnis seiner Studie doch nicht alle Zweifel zerstreut, und die einwandfreie Zulässigkeit der von dem Autor vertretenen Anschauung dahingestellt bleiben muss.

Ebenso, wie es schwierig ist, die Elektrizität an sich rechtlich zu definieren, ebenso schwer fällt es, die Lieferung des elektrischen Stromes in eine der bestehenden Rechts- und Vertragsfiguren einzukleiden. Auch hier musste der Verkehr und die Rechtssprechung sich mit Surrogaten in Gestalt von Analogien behelfen, den Stromlieferungsvertrag als " ein Ding an sich „ betrachten und einen Lieferungsvertrag konstruieren, der bald als Werkvertrag oder Sach- und Dienstmiete (Lohnvertrag), bald als Kaufvertrag, ja selbst als Miete (Bestandvertrag) qualifiziert wird. Die Spruchpraxis des k. k. Obersten Gerichtshofes ist keine einheitliche; es ist ein Erkenntnis des Obersten Gerichtshofes vom 7. November 1894 Nr. 13755 erflossen, welches den Stromlieferungsvertrag als Lohnvertrag qualifiziert, weil es sich nicht bloss um die Beschaffung einer Sache, sondern auch um eine Werkverrichtung handelt, durch welche der elektrische Strom erzeugt und seiner Verwendung zugeleitet wird. Ein anderes Erkenntnis des Obersten Gerichtshofes vom 11. Juli 1899 Nr. 8397 hat die Qualifikation als Werk-vertrag abgelehnt, und die Lieferung des elektrischen Stromes als Lieferungs-kauf karakterisiert, und an dieser Anschauung hat der Oberste Gerichtshof in einem Erkenntnisse aus der jüngsten Zeit vom 26. Dezember 1910 R v I 1088 festgehalten. Nach dieser Sentenz ist Gegenstand des Rechtsgeschäftes Uebergabe und Lieferung der Energie um einen bestimmten Preis, und nicht die entgeltliche Herstellung eines Werkes. Die Figur des Mietvertrages wird aber ausgeschlossen, weil es sich um einen verbrauchbaren Stoff handelt, während ein Bestandvertrag nur über eine unverbrauchbare Sache geschlossen werden kann. Immerhin bleibt eine gesetzgeberische Ungeklärtheit zurück, und sie bringt es mit sich, dass auch die rechtlichen Folgen, das Rechtsfundament für die Elektrizität den Anfechtungen und Zwiespältigkeiten ausgesetzt und ungemein wandelbar sind, dass die Ableitung der einschlägigen Formeln keinen verlässlichen Halt findet, und dass solcherart insbesondere die Anwendung des Eigentumsbegriffes, der Eigentumsklage, der Besitzstörung und aller sonstigen damit verbundenen rechtlichen Belange auch nicht ohneweiteres und wieder nur im Wege der Analogie tunlich ist, die

aber, zum Ruhme der Findigkeit der beteiligten Kreise sei es gesagt, angesichts der geläufigen und tiefeinschneidenden Verkehrswirkungen der Elektrizität mit grossem Geschick die entsprechenden Lösungen aus dem Privat- und Handelsrechte zu schürfen vermochte.

Mit dieser Mangelhaftigkeit auf dem Gebiete der Regelung des Elektrizitätsrechtes steht aber naturgemäss das Privatrecht nicht allein. Die der Elektrizität fehlende Körperlichkeit hat auch auf dem Gebiete des Strafrechtes grosse Blössen enthüllt. Es genügt auf die Doctorfrage hinzuweisen, die sich in dem Schlagworte: " Diebstahl an Elektrizität „ verkörpert und de lege lata zu dem Resultate führt, dass die widerrechtliche Entziehung von elektrischem Strome nach österreichischem Strafgesetze, und wohl auch nach den fremdländischen Strafgesetzen, soweit nicht Sondergesetze dem abgeholfen haben, nicht als Diebstahl erfasst und gesühnt werden kann, weil eben Diebstahl (nach dem österreichischen Strafgesetze § 171) nur an körperlichen Sachen möglich ist, und das Gesetz einen Gebrauchsdiebstahl (furtum usus) nicht kennt. So musste denn bisher ein solcher Angriff auf Elektrizität als Verkehrsgut schwerfällig und recht prekär als Betrugsfactum behandelt werden (§§ 197 und 200 St. G.). Hat in anderen Ländern diese Unzulänglichkeit zur Schaffung von Spezialgesetzen geführt, so sucht auch der neue Entwurf eines österreichischen Strafgesetzes auf diese Verhältnisse Bedacht zu nehmen, allerdings abweichend von anderen fremden Gesetzgebungen, indem er kein Sonderrecht schafft, sondern indem er im Rahmen des Hauptgesetzes einfach decretiert, dass unter dem Begriffe der Sache im strafrechtlichen Sinne auch alle Arten von Energie, und sohin auch die elektrische Energie zu verstehen sind. Hat solcherart insbesondere das Privatrecht bis nun sich bloss mit solchen Fictionen und Auslegungen abfinden müssen, so ist, wie wir am Strafrechte gesehen haben, auch das öffentliche Recht und da wieder in erster Linie das Verwaltungsrecht nicht weniger für die Ausbeute unserer Frage dürftig geblieben. Die ganze Gesetzgebung über Elektrizität und im Speziellen über die Erzeugung und Verteilung des elektrischen Stromes, erschöpft sich bis nun bei uns in Oesterreich in der gewerberechtlichen Norm, dass die Ausübung des Elektrizitätsgewerbes an eine öffentlichrechtliche Konzession gebunden ist. Aber auch diese Verfügung ist nicht in einem Gesetze, sondern in einer blossen

Ministerial-Verordnung enthalten, die vom 25. März 1883 Nr. 41 R. G. Bl. datiert, und die gewerbemässige Anlage zum Zwecke von Erzeugung und Leitung von Elektrizität zum Gegenstande ihrer gewerberechtlichen Regelung macht. Hiernach bedarf der Unternehmer, welcher Elektrizität erzeugt und verteilt, einer Konzession für die gewerbemassig betriebene Herstellung von Anlagen zur Erzeugung und Leitung von Elektrizität. Die Erteilung dieser Befugnis zerfällt in zwei Bewilligungen, in eine für die Herstellung der Elektrizitätsanlage, und in eine zweite für den Betrieb der Anlage zum Zwecke der Beleuchtung, der Kraftübertragung und für sonstige gewerbliche und häusliche Anwendung. Diese Befugnis ist aber nicht bloss eine objektive, sondern sie erfordert auch die subjektive Eignung und Genehmigungen, die für denjenigen einzuholen sind, der dieses Gewerbe persönlich betreiben oder die Leitung desselben übernehmen will. Nebstdem ist für die Genehmigung ein besonderes Edictalverfahren mittelst Anschlag und Veröffentlichung des Edictes vorgeschrieben. Damit ist aber auch der ganze materielle Gehalt der benannten Verordnung erschöpft. Im übrigen ist nur noch die Erlassung eines besonderen Regulativs in Aussicht genommen, das aber bisher nicht herausgegeben worden ist. An Stelle dieser staatlichen Vorschrift sind die Normen privater Korporationen, und vor allem die Sicherheitsvorschriften des Wiener Elektrotechnischen Vereines getreten, die durch eine dankenswerte Verfügung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten vom 29. Oktober 1909 auch den Behörden bei der Beamtshandlung von elektrischen Starkstromanlagen als Directive und Leitfaden aufgetragen wurden. Neuestens hat der österreichische Handelsminister bei der Tagung des Gewerberates die Zusage angekündigt (Mai 1910), diese Verordnung unter dem Gesichtspunkte einer dem technischen Fortschritte und dem Bedürfnisse des Publikums entsprechenden Ausgestaltung zuzuführen, jedoch nur so weit es sich um den Befähigungsnachweis und um den berechtigten Umfang der einschlägigen Gewerbe handelt. Diese Ankündigung hat daher mehr die Ausgestaltung der Befähigung im Auge und trägt eher einen zünftlerischen Karakter an sich. Der eigentlichen fabriksmässigen Starkstromindustrie dürfte damit weniger und kaum in zureichender Weise gedient sein. Jedenfalls herrscht eine starke Lückenhaftigkeit auch in dieser Rechtsmaterie, die umso empfindlicher wirkt, als die wichtigsten Lebensbedingungen für die

Stromlieferungsunternehmungen, soweit eben die Erzeugung und Verteilung der Elektrizität in Betracht kommt, darunter leiden. In diesem Belange kommt aber vor allem die Sicherung des Leitungsweges oder, wie wir sie gemeiniglich nennen, die Wegfreiheit für die elektrischen Leitungen in Frage. Hier ist allerdings ein grundlegender Unterschied zwischen den oberirdischen und unterirdischen Leitungen zu machen, somit zwischen Leitungen, die bloss den Luftraum durchqueren, und Kabeln, die im Inneren des Grund und Bodens eingelegt und eingebettet sind. Wir werden gleich sehen, warum diese Differenzierung von Bedeutung ist. Nach österreichischem Rechte ist zwar der Luftraum laut § 297 A. B. G. B. als Zugehör des Grundes erklärt, über dem er sich befindet, mit der Wirkung, dass der Eigentümer der betreffenden Realität das Recht hat, auch über den darüber befindlichen Luftraum zu schalten und jeden Anderen davon auszuschliessen. Dieser Rechtsgrundsatz steht aber längst nicht mehr unerschütterlich fest. Es sind Rechtsauffassungen und Judikate des Obersten Gerichtshofes über diese Norm hinweggegangen, und es sind Entscheidungen erflossen, die bekundet haben, dass der Grundeigentümer, dessen Rechte sich auf den Raum über der Grundoberfläche erstreckt, solche Einwirkungen nicht verbieten kann, die in solcher Höhe und in einem so geringen Maasse vorgenommen werden, dass er an der Ausschliessung derselben kein Interesse hat (Usus publicus). Ich nenne in dieser Hinsicht die Erkenntnisse des Obersten Gerichtshofes vom 12. Jänner 1910 R. v. II 1004/9 und des Obersten Gerichtshofes vom 27. November Gl.-U. Nr. 3995, in welch' letzterem wesentlich ausgesprochen wurde, dass durch einen Eingriff in den Besitz des Luftraumes mittelst Spannen von Leitungsdrähten über ein Grundstück eine Besitzstörung nicht vorgenommen wird, insoferne als sich der Besitz des Luftraumes nur so weit erstreckt, als von ihm Gebrauch gemacht wird und eine Herrschaft über ihn möglich ist. Wie diese Sentenzen beweisen, beziehen sie sich nur auf die oberirdischen Leitungen, nicht aber auf die Leitungen, die das unterirdische Terrain benützen, und für das eine derart einschränkende Gesetzes-Auslegung wohl kaum Platz finden könnte, wonach in einer verhältnismässig geringen Tiefe unter dem Niveau, in welcher die Kabel zu liegen kommen, der Herrschbereich des Grundeigentümers zu Gunsten fremder Leitungen ausgeschaltet wäre und aufhören sollte. Ausserdem kommt in Betracht, dass

auch die genannten Entscheidungen recht vereinzelt sind, und nur den Spezialfall regeln, demnach gleichfalls keine allgemeine und verlässliche Grundlage zu bieten vermögen.

Es ist daher begreiflich, dass auf die Regelung dieser Verhältnisse in erster Linie bedeutendes Gewicht gelegt wird, die allerdings bis nun wohl eingeleitet, aber leider bei Weitem nicht vollzogen ist. Schon im Jahre 1894 sind Anregungen auf Schaffung eines Elektrizitätswege-Gesetzes in der Volksvertretung gegeben worden. Es sind aber darüber viele Jahre fruchtlos verstrichen, bis endlich im Jahre 1908 unter dem Einflusse fachkundiger Abgeordneter der Justiz-Ausschuss des österreichischen Abgeordneten-Hauses selbst und aus eigener Initiative einen Gesetzentwurf ausgearbeitet hat, der es sich zur Aufgabe machte, Normen zur Einräumung von Benützungsrechten für elektrische Leitungen an öffentlichen Kommunikationen und an fremdem Eigentum, und zwar sowohl im Luftraume, wie auch unterhalb der Grundstücke zu erlassen, und damit ein besonderes Verfahren für die Genehmigung der Starkstrom-Anlagen zu vereinen. Das Schicksal dieses Initiativ-Entwurfes war kein freundliches, er war noch dem Kurien-Parlamente entsprungen, und sein Ersatz durch das Volks-Parlament hat auch diesem Antrage das Leben gekostet. Indessen seine Spuren waren nicht verwischt. Noch im Jahre 1908 hat die Regierung selbst sich dieses Elaborat zu Nutze gemacht, und eine Vorlage zur parlamentarischen Behandlung eingebracht, welche den gleichen Betreff verfolgte; es ist dies der Entwurf Nr. 1213 der Beilagen zum stenographischen Protokolle des Abgeordneten-Hauses XVIII. Session, 1908. Aber auch dieser Gesetzentwurf konnte es noch nicht zur gesetzlichen Kraft bringen. Die Regierung hat ihn, nachdem sie selbst eine Enquete über die administrative und gesetzliche Regelung des Elektrizitätswesens veranstaltet, und eine Enquete der n. ö. Handels- und Gewerbekammer gehört hatte, wieder zurückgezogen, angeblich um sich das Ergebnis dieser Beratungen zu Nutze zu machen; sie hat jedoch ihren Entwurf bisher nicht wieder eingebracht, obschon immer wieder in öffentlichen Kommuniquees die alsbaldige Vorlage angekündigt wurde. Inzwischen aber war — wie bereits einleitend bemerkt — das Abgeordnetenhaus nachhause geschickt, und es sind neue Wahlen vollzogen worden, so dass die verfassungsmässige Behandlung des Entwurfes abermals einen recht unerwarteten und unerfreulichen Aufschub erfahren hat.

Gleichwohl ist es notwendig, sich mit dem Inhalte dieses Gesetzentwurfes kurz zu befreunden, weil er ja offenkundig die Basis für die neuen Vorlagen bilden wird, insoferne als damit die langersehnte Wegeberechtigung für die Anlage von Elektrizitätsleitungen begründet werden soll. Dies aber kann im Rahmen eines Referates begreiflicherweise nur summarisch geschehen, ohne dass eine ausführliche Wiedergabe oder gar eine Kommentierung und Besprechung des Gesetzes versucht werden soll. Ich möchte demnach kurzer Hand resumieren, dass der Elektrizitätswegegesetzentwurf die Zubilligung von Zwangsbenützungsrechten bezweckt für elektrische gewerbliche Starkstromanlagen und für die staatlichen Schwachstromanlagen in dem Maasse, dass diese Unternehmungen für ihre elektrischen Leitungen nebst dem Zubehör die öffentlichen Verkehrswege und öffentlichen Gewässer, sowie fremdes Privateigentum unentgeltlich in Anspruch nehmen und benützen dürfen auf Grund eines ziemlich einfachen, und im Gesetze genau umschriebenen Genehmigungsverfahrens. Als Gegengewicht zu dieser gewiss weittragenden Befugnis wird die Konsenspflicht für die gewerblichen elektrischen Starkstromanlagen eingeführt, wie sie übrigens grossenteils auf Grund der schon gedachten Ministerialverordnung vom Jahre 1883, und nach den einschlägigen Bestimmungen der Gewerbeordnung ohnehin schon besteht. Dieses Korrolar zu Gunsten der Staatsaufsicht wird aber noch dadurch ergänzt, dass sich die Staatsverwaltung auch gewisse Aufsichts- und Hoheitsrechte vorbehält, die insbesondere darin bestehen, dass die Konzession und Konsense auf bestimmte Fristen begrenzt werden, dass sich der Staat weiterhin gewisse Heimfalls- und Einlösungsberechtigungen sichert, sich eine Ingerenz auf die Preisbildung und Tarifbestimmung wahrt, und dem Unternehmer eine bindende Betriebspflicht nebst einem allgemeinen Kontrahierungszwange auferlegt. Ueberdies ist in dem Gesetzentwurfe noch ein Schadensrecht aufgenommen, welches einer weitreichenden Unternehmerhaftung in Gestalt der Erfolghaftung aequipariert, und neuestens ein als zeitgämisser Nachtrag vom Herbste 1912 beigesetzt sei, von dem in Wien abgehaltenen 31. deutschen Juristentage für Elektrizitätsanlagen als gerechtfertigt deklarirt wurde. Es ist nicht zu leugnen, dass sich bei aller Anerkennung des Prinzipes der Wegfreiheit, welches die Interessentenkreise mit grosser Befriedigung und Begeisterung begrüsst haben, gegen die aufgezählten staatlichen Praerogative

und Beschwernisse eine lebhafte Misstimmung und Opposition in den Interessentenkreisen geregt hat. Genug dass diese Unstimmigkeiten zur Zeit noch immer nicht behoben sind, und dass es solcherart kaum absehbar ist, wann und in welcher Form dieser Gesetzentwurf wieder das Tageslicht erblicken wird. Die Situation hat sich insoferne noch verschlechtert, als inzwischen neue Vorschläge aufgetaucht sind, welche auf dem Regierungsentwurfe sich aufbauend, noch engherziger als dieser die staatssoziale Seite in den Vordergrund rücken, und die dem Staate vorbehaltenen Gerechtsame in Bezug auf das Elektrizitätswesen noch vielfach zu erweitern und zu stärken trachten.

In diese Darstellung muss aber die Erkenntnis eingeflochten werden, dass naturgemäss die alten und neuen Operate zwar die offiziellen Intentionen der Beteiligten im beiderseitigen Lager kundgeben, aber noch immer kein Gesetz sind, und dass daher insonderheit mit Bedauern berichtet werden muss, dass die Elektrizität in der österreichischen Gesetzgebung im Wesen bisher noch heimatlos und obdachlos umherirrt.

Alles dies, was besprochenermassen insbesondere für die Dampfzentralen gilt, ist fast ausnahmslos auch auf die hydroelektrischen Unternehmungen zu beziehen und so macht sich der Abgang in der Gesetzgebung auch hier empfindlich fühlbar, nur dass hier noch zahlreichere Kompetenzen ineinander greifen. Bei den Wasserkraftanlagen hat nämlich neben der Gewerbeordnung auch das Wasserrechtsverfahren Anwendung zu finden nach dem Reichswasserrechts-Gesetze vom 30. Juni 1869, Nr. 93 R. G. Bl. und den einschlägigen 17 Particulargesetzen für die einzelnen Kronländer, welche im Reichsrate vertreten sind, aber in ihren Landtagen für solche Belange eigene Gesetzgebungen besitzen. Eine ähnliche Wahrnehmung ist auch im elektrischen Bahnwesen zu machen, auf dem wieder rücksichtlich der den Strombedarf der Bahn besorgenden Elektrizitätsanlagen mit Ausschluss der gewerberechtlichen Administrative die eisenbahnrechtlichen Kompetenzen nach dem neuesten, jetzt giltigen Lokalbahngesetze vom 8. August 1910, Nr. 149 R. G. Bl. einzutreten haben. Auch auf den beiden letztgedachten Gebieten fehlt es mithin an jeder Regelung des spezifischen Elektrizitätsrechtes, so dass der ungeordnete Zustand auch hier obwaltet, es sei denn die hervorhebenswerte Tatsache, dass sich auf dem Gebiete des Wasserrechtes gleichfalls ziemlich weit vorgeschrittene Reformbestrebungen geltend machen, die auch für die

Hydroelektrizität und deren Anwendung verheissungsvoll werden dürften insoferne, als auch hier die Institution der Zwangsrechte erweitert, und somit die Zwangsbenützung für Rohr- und Wasserleitungen in ihrer durch das Reformgesetz dargebotenen Ausgestaltung eine wertvolle Ergänzung in dem Zwangsbenützungsrechte für elektrische Leitungen finden würde. Das neue Wasserrechtsgesetz soll aber auch, was für Elektrizitätsanlagen geradezu eine Lebensfrage geworden ist, die Enteignung von Zwischenwasserrechten zulassen, und die Möglichkeit vorsehen, die Expropriationsentschädigung für Wasserkraft statt in barem Gelde auch in elektromotorischer Kraft zu leisten, wobei nur beschwerend ins Gewicht fällt, dass unter Reception der bisherigen Praxis auch die wasserrechtlichen Konzessionen nur auf Zeit verliehen werden sollen. (Diese Wasserrechtsnovelle steht dermalen (1911-1912) in den verschiedenen Landtagen des Reiches in verfassungsmässiger Verhandlung, und einzelne Landtage haben dem neuem Wassergesetze bereits die Genehmigung ertheilt).

Angesichts des Fehlens einer gesetzlichen Ordnung liegt es mithin auf der Hand, dass die private Einigung überwiegend gewissermassen die pragmatische Sanction für die Elektrizitätswerke bildet. Diese privaten Vereinbarungen sind vornehmlich die Verträge, welche den Elektrizitätsanlagen dermalen die Strassenbenützung sichern und von ihnen mit den Strasseneigentümern zu tätigen sind, deren Wege für die Leitungen benützt werden müssen: es sind dies zumeist die Gemeinden, so dass die sogenannten Gemeindekonzessionen das Hauptfundament der Elektrizitätsanlagen bilden. Diese Strassenbenützungsverträge haben schon nach ihrer Entstehung grundsätzlich privatrechtlichen Karakter, es ist aber unleugbar, dass sie auch vielfach in öffentlichrechtliche Relationen der Gemeindeverwaltungen übergreifen, woraus sich nicht selten Zwiespältigkeiten und Kontroversen entwickeln. Durch diese Strassenbenützungsverträge ist aber zumeist erschöpfend die rechtliche Grundlage für die Stromerzeugung und Verteilung der Elektrizitätsanlagen festgelegt. Für den Absatz an den Verbraucher bedarf es aber noch eines Aufbaues auf diesem Fundamente, da hiebei natürlich die Rechtsbeziehungen zwischen dem Elektrizitätswerke und seinen Abnehmern in Betracht kommen. Diese richten sich wieder nach den Stromlieferungsbedingnissen, unter welchen sich das Werk erbietet, die Elektrizität an den Verbraucher abzulassen.

Gewöhnlich sind auch die Stromlieferungsbedingnisse integrierende Bestandteile der Strassenbenützungsverträge, und zwar meist dann, wenn es sich um das Verhältnis einer Gemeinde zu der Elektrizitätsunternehmung handelt, weil dann die Gemeinde ein Interesse daran hat, bei Ueberlassung des Strassengrundes nebst den ausbedungenen Gegenleistungen, welche der Allgemeinheit zugute kommen, jenen Teil der Bevölkerung, welcher von der Elektrizität Gebrauch machen will, vor Uebervorteilung zu schützen, ihr möglichst günstige Strombezugsbedingnisse zu sichern, und sich so einen Einfluss auf die Formulierung dieser Konditionen vorzubehalten. Die Benützung der Gemeindestrassen durch den fremden Unternehmer soll der Wohlfahrt aller Interessenten dienen, und demnach nur unter solchen Modalitäten stattfinden, welche von der Gemeinde gutgeheissen werden. Damit rücken die Stromlieferungsbedingnisse in den Bereich der Rechtsbildung und der Rechtsgestaltung ein. Sie enthalten eine Fülle von Bestimmungen, die allen wesentlichen Verhältnissen der Elektrizitätslieferung Rechnung zu tragen suchen. Sie bestimmen den Preis, sowohl nach der Einheit, als auch für pauschalierte Stromlieferung. Sie bedingen als Gegenstück zur Betriebspflicht und zum Kontrahierungszwange des Unternehmers die Pflicht des Abnehmers zum Strombezuge während einer gewissen Mindestzeit; sie enthalten die Regeln für die Ermittlung und Verrechnung des Konsumes, insbesondere auch die Normen über die Zählerrente; sie umschreiben die Folgen für Zuwiderhandlungen bei Nichtzahlung und Versäumnis; die Haftpflichten bei Betriebsunterbrechungen und Störungen, die allerdings in der Mehrzahl der Fälle seitens der Unternehmungen ausgenommen oder durch gewisse Konventionalstrafen entfertigt werden. Sie regeln die Pflicht des Konsumenten für die Instandhaltung der Installation, um verschiedentlich sogar ein Installationsmonopol zu Gunsten des Unternehmers, jedenfalls aber ein Kontroll- und Prüfrecht der von dritter Seite hergestellten Installationen zu postulieren.

Wenn wir in diesen grossen Zügen den Rahmen der Stromlieferungsbedingnisse abgegrenzt haben, so mag sich hieran nur noch die Feststellung knüpfen, dass die Stromlieferungsbedingnisse solcherart freilich eine lex darstellen, aber eine blosse lex contractus, die ähnlich wie der Versicherungsvertrag überall dort, wo kein zwingendes Gesetz besteht, sich nach Konvenienz, Erfahrung und Herkommen einen eigenen Codex schafft,

allerdings unter Mitwirkung jener Faktoren, die, wie die Gemeinden, als Strasseneigentümer sich den Einfluss hierauf gewahrt haben, und dessen Inhalt je nach der Auffassung und der Nachgiebigkeit der Gemeinde bald günstiger, bald weniger vorteilhaft für den Unternehmer lautet, aber der Hauptsache nach die rechtliche und wirtschaftliche Einigung in den Beziehungen zwischen dem Unternehmer und der Masse der Abnehmer bezweckt und auch erzielt. Hier mag nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass in den neuen Entwürfen, welche sich die Regelung des Elektrizitätsgesetzes zur Aufgabe machen, jenes Rollenfach, welches die Gemeinde dermalen zumeist bei der Feststellung dieser Rechtsverhältnisse spielt, die höher gearteten öffentlichen Verbände, vor allem aber der Staat sich anzueignen sucht, so dass die Gemeinde mit ihrem Strassenrechte abseitsgestellt wäre, und an ihrerstatt die Staatsverwaltung einzutreten hätte. Es ist dies Grund genug für die Gemeindeverwaltungen, dass auch sie sich sowohl dagegen, wie gegen jede sonstige Beeinträchtigung ihrer autonomem Befugnisse, die ja auch in der Zwangsbenützung des Gemeindegrundes, wie sie das Elektrizitätswegegesetz vorhat, zum Ausdrücke gelangen würde, energisch wehren. Damit aber steht überhaupt die weitere legistische Frage in Zusammenhange, ob den Gemeinden als solchen selbständig die Verfügungsberechtigung über den Gemeindegrund zusteht, was in der Mehrzahl der Fälle nach dem Stande der Gesetzgebung verneint verden muss, und was auch seither in der Rechtsprechung des österreichischen Verwaltungsgerichtes seine Bestätigung gefunden hat. In einem Erkenntnisse aus der jüngsten Zeit hat der Verwaltungsgerichtshof (Erkenntnis vom 25. Januar 1911 Zl. 10406) entschieden, dass die Verfügung über Gemeindegrund einer Belastung desselben gleichzuachten ist und dass nach den respektiven Gemeindeordnungen hiezu (die Reichshaupt- und Residenzstadt Wien ausgenommen) nicht die Gemeinden allein, sondern nur unter Ratifikation der übergeordneten Stellen, als welche nach der österreichischen Kreisverfassung die Bezirks- und Landesausschüsse berufen erscheinen, befähigt sind. Dieser Grundsatz ist für die Beurteilung der dermaligen Rechtslage von grosser Bedeutung; er will aber wohlverstanden besagen, dass kein Teil, mithin weder die Gemeinde noch die Landesausschüsse für sich, über den Gemeindegrund disponieren kann, und dass jede solche alleinige und selbständige Disposition ungiltig ist. Es kann also

auch die übergeordnete Stelle nicht selbständig die Bewilligung erteilen, so dass diese Ratihabition den Konsens der Gemeinde nicht etwa ersetzt, sondern lediglich ergänzt. Beide Faktoren müssen zusammenwirken, um die Strassenbenützung zu einer wirksamen zu gestalten. Wo diese Kooperation fehlt, ist der Verfügung die zweckbewusste Geltung versagt oder doch in Gefahr. So hat der Verwaltungsgerichtshof bereits in einem Erkenntnisse vom 18. November 1892 o. S. (1) N° 6883 sich ausgesprochen. Das Genehmigungsrecht hat die Wirkung, dass für die betreffende Verwaltungsangelegenheit das Recht der freien Selbstbestimmung dahin beschränkt wird, dass die Rechtswirksamkeit des Aktes von der Zustimmung der übergeordneten Behörde abhängig gemacht wird. Aber an Stelle des nicht genehmigten Aktes andere Massnahmen selbständig zu setzen, dazu sind die Behörden darum noch nicht befugt.

Auch aus dieser Bestimmung mag somit die Erkenntnis bestärkt werden, dass, da eine mit Gesetzeskraft ausgestattete Normierung fehlt, bis dahin lediglich die private Willenseinigung, der mutuus consensus zwischen den Parteien die Rechtsbasis für die Tätigkeit zur Erzeugung und Verteilung des elektrischen Stromes bildet.

Noch ist eine weitere Eigentümlichkeit zu streifen, die in der Stellung der Elektrizitätswerke dann zum Vorscheine kommt, wenn ein solches Werk mit seinen Leitungen einen grosseren Landstrich versorgt, also nicht auf den geschlossenen Ort des Werkbestandes sich beschränkt, sondern als Ueberlandzentrale mehrere Orte und Ortsnetze in sich schliesst. Natürlich ist es notwendig, dass bei der Vielheit dieser Gemeinden der Unternehmer die Strassenbenützung bei jeder einzelnen dieser Ortschaften und Gemeindeverwaltungen einholt und erwirkt, so dass die Rechtsstellung des Unternehmers auf ebenso vielen Strassenbenützungsverträgen ruht, als Gemeindebereiche zum Anschlusse bestimmt sind. Dass sich aus einer solchen Coexistenz tiefgreifende Collisionen ergeben können, liegt zutage. Indessen sei an dieser Stelle nicht in Besonderem hievon gesprochen, sondern vielmehr darauf aufmerksam gemacht, dass die Konzessionsfrage für solche Ueberlandzentralen bisher noch nicht einwandfrei geklärt ist. Die Gewerbebehörden entscheiden nicht überein-

(1) o. S., offizielle Sammlung (Budwinski).

stimmend, ob eine solche Ueberlandzentrale für jeden Ortsbereich, in dem sie ihr Produkt umsetzt, einer eigenen Gewerbe-Konzession bedarf, oder ob die Konzession für den Standort des Elektrizitätswerkes ausreicht, um ohne weitere Genehmigungen auch alle anderen Absatzstätten errichten und betreiben zu können. Nach meiner Meinung würde die letztere, einfachere Formel in vollem Einklange mit den gewerberechtlichen Bestimmungen stehen, indem jedes Werk nur Einer Gewerbekonzession bedarf, während die für die Leitungen erforderlichen Konsense lediglich einen polizeilichen Karakter tragen und eine weitere konzessionsmässige Einwirkung unnötig machen, daher auszunehmen sind. Es entspricht dies insbesondere der Vorschrift des § 41 der österreichischen Gewerbeordnung, welcher verbürgt, dass jedes Gewerbe nicht bloss an seinem Standorte, sondern auch ausserhalb desselben durch den Absatz seines Produktes, in unserem Falle der Elektrizität ausgeübt werden kann. Diese Auslegung, die aber mannigfach übersehen wird, scheint mir für die Verteilung des elektrischen Stromes von umso grösserer Wichtigkeit, weil sonst neben der bereits gedachten Strassenbewilligung die Behörde es auch nach dieser Richtung leicht in der Hand hätte, die Freizügigkeit eines auf die Verteilung seines Produktes angewiesenen, und gerade hierin besonders qualifizierten Unternehmens, wie es die mit Fernleitungen arbeitenden Elektrizitätsanlagen sind, zu behindern.

Die Eigenschaft der Elektrizitätsanlagen als sogenannte Distanzunternehmungen wirkt auch anderweitig auf die Gesetzgebung zurück, vor allem in steuergesetzlicher Beziehung, weil sich hiernach die Frage bestimmt, ob eine einheitliche Betriebsstätte oder mehrere Bestriebsstätten vorliegen, was wieder für die Feststellung des Steuerortes massgeblich ist. Als Steuerort (Steuerdomizil) aber wird nicht allein die Erzeugungsstätte, sondern jede Absatzstätte aufgefasst, so dass für ein Elektrizitätswerk gleich wie bei einer Eisenbahn eine repartierte Besteuerung Platz zu greifen hat, was deshalb von Bedeutung ist, als dadurch die Steuerbasis in erhöhtem und vervielfältigtem Maasse der Umlagenpolitik der Gemeinden ausgeliefert ist derart, dass verschiedentlich die Summe der Umlagen den Belauf der staatlichen Abgabe bei Weitem überschreiten kann. Es ist dies wirtschaftlich von umso grösserer Tragweite, als der Kalkül der Unternehmungen darunter Abbruch erfahren kann, und so die wirtschaftlichen Voraussetzungen für die Ver-

teilung der Elektrizität umgestossen werden können. Hier seien bloss die Judikate des Verwaltungsgerichtshofes o. S. Nr. 4947 und 4948 herausgehoben, die die obgedachte Sentenz wiedergeben, dass bei Aufteilung der Erwerbsteuer für ein Elektrizitätswerk nicht bloss die Erzeugungsstätte, sondern auch die Verteilungsnetze in jeder mit Strom versorgten Ortschaft als Betriebsstätte anzusehen sind.

Werfen wir noch einen raschen Blick auf den anderen Abschnitt des Finanz-rechtes, so spielt für die Elektrizitätswerke vor allem die Frage des Gebühren-Aequivalentes nach Tarifpost 106 Be des Gebührengesetzes vom 13. Dezember 1862, Nr. 89 R. G. Bl. eine Rolle, weil mit dieser eigenartigen Abgabe, die einen Gebührenersatz für langlebige juristische Personen bilden soll, und für die, wie ich meine, dem Fremden das Verständnis schwerlich beizubringen sein dürfte, die rechtliche Qualität des Zubehöres eine einschneidende Rolle spielt. Dies gilt insoferne, als bei einer Elektrizitätsanlage die inneren Einrichtungen und der sonstige fundus instructus einen Ueberwert gegenüber den Realitäten darstellen; die Gebühr aber; die prinzipiell bei privaten Erwerbgesellschaften bloss die unbeweglichen Sachen ergreifen soll, ihre Fänge auch auf diese an sich beweglichen Dinge ausstreckt nach dem Grundsatze, dass das Zubehör eine Nebensache der Hauptsache bildet, und auch gebührenrechtlich ihr Schicksal teilt. Ich muss mich auch hier auf diese Andeutungen beschränken; nähere Erörterungen dieser Materie würden zu weit führen und den Rahmen dieser Abhandlung sprengen.

Wohl aber fällt in diese Erörterung noch die Verordnung über die elektrischen Maasseinheiten vom Jahre 1898, sowie die Verordnung über die eichamtliche Prüfung und Beglaubigung für Elektrizitätsverbrauchsmesser, die wiederholt erneuert wurde, zuletzt vom 21. Dezember 1903 Nr. 261 R. G. Bl. datiert und den behördlichen und gebührenpflichtigen Eichzwang decretiert, der allerdings etwas abgeschwächt wurde durch die Kundmachung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten vom 23. Juli 1908 Nr. 184 R. G. Bl., womit fakultativ die Nacheichung statt durch die Behörde auch durch das Elektrizitätswerk als zulässig befunden wird. Auch gehört der Vollständigkeit halber hieher die Sonderverschrift des Handelsministeriums vom 24. April 1895 Nr. 58 R. G. Bl., neuerdings abgeändert und teilweise noch verschärft durch die unmittelbar vor drucklegung

dieser neu Auflage erlassene Verordnung vom 12. September 1912, Nr. 186 R. P. Bl., womit unter Wahrung des Karakters der Elektrizitätsanlagen als continuierliche Betriebe die sonst verbotene Sonntagsarbeit prinzipiell gestattet wird, aber entsprechende Verfügungen in Betreff der Bewilligung von Ersatzruhetagen erlässt, die allerdings sozialpolitisch den Arbeitern wesentlich zustatten kommen, vom Standpunkte der Unternehmung sich aber häufig als unausführbar und sehr belastend erwiesen haben, weil bei vielen, besonders provinziellen Elektrizitätswerken die Einlegung einer Sonntagsschicht mit Rücksicht auf die Ertragsfähigkeit des Unternehmens nicht immer zulässig, und infolge der kaum aufbringlichen fachkundigen Betriebsmannschaft auch nicht immer durchführbar ist.

Es liegt auf der Hand und entspricht dem Karakter dieses Berichtes, dass seine Darstellung nur knapp ausfallen kann, zumal auch der Rechtsboden, auf dem die Materie ruht, nur kärglich bebaut ist. Diese Darstellung muss sich füglich nach dem herrschenden Rechtsbestande richten, und muss darauf verzichten, etwa weiteren Ausblick zu halten, oder gar Vorschläge für einen Ausbau zu erstatten, wenn nicht die Grenzlinie des Themas ungebührlich verrückt werden soll. Solcherart kann das vorliegende Referat nur die Not des Tages beleuchten, die Dürftigkeit von Verhältnissen, die im direkten Missklange steht zu der Grösse und Bedeutung, welche die Entwicklung der Elektroindustrie wie allerwärts auch bei uns in Oesterreich gewonnen hat. Auch wir können mit Stolz auf grosse Errungenschaften, ansehnliche Werke und namhafte Unternehmungen hinweisen. Die Wohlfahrt des Landes und der Bevölkerung hat unter der fortschreitenden Anwendung der Elektrizität grosse Befruchtung und vielerlei Vorteile erlangt. Die Elektrizität ist in die Poren jeder Art produktiver Tätigkeit gedrungen, und hat sich dort festgesetzt und sich zu einer überragenden Geltung gebracht. Die Elektrizität hat den Kreis ihrer Reflektanten und Verbraucher grandios erweitert. Das Gut der Elektrizität ist zu einer flottanten Ware mit ungeheuerem Bedarfe und ungeahnten Absatzmengen geworden. So ist denn die Elektrizitätsverwertung, wie in allen Kulturländern, auch hierzulande ein Hauptelement der gewerblichen und industriellen Betriebsamkeit und der Gütererzeugung geworden. Wir stehen damit keineswegs zurück. Nur die rechtliche Ordnung für die Unternehmungen, welche diese hochwertige Ware erzeugen und verteillen, ist trotz alledem

über die guten Vorsätze und behenden Anläufe nicht hinausgekommen. Es fehlt auch bei uns nicht an geistvollen und aufgeklärten Köpfen, die diesen Umstand beklagen, die ihn beseitigen und die gesetzliche Regelung herbeiführen wollen. Schon liegen wertvolle Studien, Behelfe und Entwürfe vor. Auch die Dringlichkeit wird nicht verkannt und sie ist, mit Genugtuung für die industrielle Entwicklung sei es betont, auch nicht länger abzuweisen. So will ich denn am Schlusse dieser Zusammenfassung der Hoffnung Ausdruck geben, dass alle diese Momente im Vereine mit der stetig vorwärts schreitenden Wirtschaft unseres Landes zusammenwirken werden, damit auch wir nicht länger vergeblich auf jene Tat und jene Normierung warten, die zum Besten der Elektroindustrie und ihrer weiten Interessentenbereiche in den anderen Staaten bereits längst gereift ist, und dort zum Wohle der Allgemeinheit sich einen gesunden und gedeihlichen Rechtsboden geschaffen hat. Wir zweifeln nicht, dass auch bei uns dieser Samen Wurzel fassen, und dass ihm als die schönsten Früchte des Wirtschaftslebens und seiner vielfältigen Handels- und Rechtsbeziehungen auch auf dem Gebiete des Elektrizitätswesens Klarheit und Verlässlichkeit des Verkehres entspriessen werden.

RÉSUMÉ

A l'heure qu'il est, l'Autriche est encore dépourvue d'une législation proprement dite en matière d'électricité. Il serait peu sérieux désormais d'invoquer, pour expliquer une situation aussi anormale, le trop rapide développement des applications de cette branche de la physique, car le temps est passé des progrès précipités; leur cours est, aujourd'hui, assez calme pour qu'on les suive sans peine: l'exemple de la Suisse et de l'Italie est là pour prouver que l'électricité et les lois qui doivent en discipliner l'application peuvent aller du même pas.

Comment considérer, juridiquement parlant, le courant électrique? La science, jusqu'ici, n'a pas réussi à en déterminer la nature; elle n'a même pas su le définir d'une façon décisive. Sans doute, est-ce pour cela que le législateur se montre encore si inhabile à en fixer le caractère juridique. Certains, néanmoins, soutiennent qu'on pourrait lui appliquer la formule: tout ce qui, étant d'une autre essence que les personnes, peut s'employer à la satisfaction des besoins des personnes, est à considérer juridiquement comme une chose; *ils affirment conséquemment que l'énergie électrique est une* chose, *et spécialement une chose matérielle et mobile.*

Dans un autre ordre d'idées, comment faire entrer les contrats de fourniture d'énergie électrique dans les cadres usuels de la législation et du commerce? pour les uns, ce contrat est un contrat de louage, pour d'autres, un contrat de vente et achat nettement caractérisé.

Ce vague se constate autant dans le champ pénal que dans le champ civil: ni l'Autriche, ni l'étranger ne considèrent comme un vol la soustraction frauduleuse du courant électrique, car l'existence de la chose *matérielle dérobée ne peut pas être prouvée.*

Au point de vue de la production et de la distribution de l'électricité, l'exercice de l'industrie électrique, en Autriche, est toujours subordonné à une concession publique, bien que cette concession ne découle jamais d'une loi spéciale, mais d'un simple décret ministériel. Il en est de même, d'ailleurs, des règlements qui déterminent les concessions et qui n'émanent pas davantage du gouvernement; ils proviennent d'associations privées; ceux du Wiener Elektrotechnischer Verein particulièrement sont invoqués par les autorités qui y cherchent les directives de leur action en matière d'électricité.

Une loi qui fixait les conditions du passage des lignes aériennes et souterraines d'électricité dans notre pays fut proposée dès l'année 1894; quatorze ans plus tard, on arrivait à grande peine à formuler et à présenter un projet consacrant le droit au passage de ces lignes sur la propriété publique ou privée, et tendant à énoncer les règles à suivre dans les concessions qui s'y réfèrent. Ce projet est tombé, et, bien qu'on annonce officiellement que le gouvernement en a un autre tout prêt, rien n'indique encore que la fin du provisoire soit proche: c'est à la nouvelle Chambre, sans doute, qu'il appartiendra de résoudre le problème.

Les données générales du projet de 1908 étaient les suivantes: occupation gratuite des voies et des eaux publiques ainsi que des propriétés privées par les lignes électriques, tant aériennes que sou-

terraines, destinées à l'industrie, ou aux services télégraphiques et téléphoniques de l'État; réserve, au profit de ce dernier, des droits de surveillance, d'ingérence dans la compilation des tarifs, de préemption en cas de rachat.

Sous le régime actuel, quand il s'agit d'une installation hydro-électrique, l'absence de toute législation spéciale se fait vivement sentir, et l'on ne manque jamais de se heurter aux droits sur les eaux ou à quelques-unes des dix-sept lois particulières des différents territoires de l'Empire. Il en est absolument de même, quand c'est de chemins de fer électriques qu'il s'agit.

En l'absence de dispositions législatives, des accords à l'amiable sanctionnent les concessions des entreprises électriques, et leur garantissent l'usage des voies publiques. Or, comme c'est avec les Communes qu'on a le plus souvent affaire, ce sont les concessions dites communales qui régissent les installations d'électricité. Les conditions de fourniture de l'énergie électrique aux particuliers font habituellement partie intégrante des concessions d'occupation du sol, spécialement quand ces contrats de concession sont passés avec les Communes. Ces conditions établissent le prix de vente de l'énergie, et fixent les obligations réciproques du fournisseur et de l'acheteur. Dans les nouveaux projets de loi proposés perçait la tendance de substituer l'État aux Communes et autres concessionnaires possibles.

C'est qu'en effet, un cas important à considérer est celui de la coexistence des droits de plusieurs Communes intéressées à l'établissement d'une ligne électrique unique, lesquels droits, parfois antagonistes, pourraient engendrer des collisions d'intérêts qu'il conviendra d'éliminer au moyen de règlements fixes. Dans les cas de cette nature, où le rayon d'action d'une installation embrasse le territoire de plusieurs Communes, il sera indispensable de déterminer les modes d'application des taxes, et d'établir si elles devront porter totalement sur l'usine de production, ou se répartir entre les diverses localités qui jouissent du bénéfice de la distribution.

Nous possédons depuis 1898 des dispositions qui fixent l'unité de mesure électrique, et qui règlent les opérations de vérification et d'étalonnage des compteurs. Un décret du Ministère des Travaux Publics admet que ces opérations puissent être accomplies par les fournisseurs d'énergie plutôt que par les autorités; c'est une question à revoir afin d'en harmoniser la solution avec les exigences modernes.

On ne prétend point ici avoir esquissé un programme complet

de propositions; on a voulu seulement exposer l'état actuel des choses et relever le contraste qui existe, en Autriche, entre les progrès de l'industrie électrique et la pénurie de mesures législatives qui devraient la gouverner. On serait heureux si l'on avait pu faire comprendre qu'à une industrie aussi développée il faut une législation correspondante qui amène enfin l'Autriche au niveau des autres nations.

DISCUSSION

sur les Rapports de MM. Barnet-Lyon, Ericson et Schreiber.

M. R. Arnò (Milan), Président, — *remercie les orateurs de leurs importantes communications; il fait observer qu'il existe en Italie une loi (loi du 15 avril 1895, n° 161) qui autorise les Municipalités à imposer des surtaxes sur l'énergie électrique distribuée aux particuliers. Il tient aussi à ajouter que des études sont en cours pour modifier la loi du 7 juin 1894 et le règlement s'y rapportant. La nouvelle loi sera probablement présentée dans l'année. Cette loi a été étudiée par une Commission dont fait partie notre Président M. Lombardi, qui — c'est à espérer — pourra et voudra donner des renseignements à ce propos.*

M. Ernest Gérard (Bruxelles) — *demande à compléter les renseignements donnés par M. Ericson concernant les mesures administratives Belges. Il existe, en Belgique, un comité spécial chargé de l'étude des mesures de sécurité; il est composé de fonctionnaires du Departement des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, et de l'Administration des Ponts et Chaussées. Les avis donnés par ce comité servent de base aux arrêtés Ministériels autorisant les installations de transport d'énergie électrique, tant au point de vue de l'autorisation de voirie, que des mesures de sécurité. Un règlement en élaboration, visant les questions techniques, sera mis en application par un arrêté royal appuyé sur des lois préexistantes relatives à la police de la grande voirie, les installations télégraphiques, téléphoniques, la police de chemins de fer et les concessions du tramway ou des lignes de chemins de fer vicinaux.*

M. M. de Chatelain (St.-Pétersbourg) — *observe que le très intéressant rapport de M. Ericson contient, en ce qui concerne la Russie, quelques lacunes qu'il se fait un devoir de combler:*

1° Nous n'avons en Russie, jusqu'à présent, aucun impôt sur l'énergie électrique; tout combustible (naphte, charbon) étant taxé, toutes les sociétés techniques se sont prononcées contre cet impôt,

trouvant qu'il pèserait doublement sur l'énergie électrique: par contre, le gouvernement Russe encourage, dans certains cas, l'utilisation de l'énergie électrique. Ainsi à Bakou, au centre du pays du pétrole, le gouvernement encourage les industriels qui emploient l'énergie électrique pour l'extraction du naphte, en affranchissant de tout impôt une fraction de la quantité de naphte employé pour l'extraction.

2° Tout dernièrement un décret de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie a établi des règlements spéciaux pour les installations électriques dans les mines et usines métallurgiques.

M. L. Lombardi (Naples) — *donne quelques informations concernant la nouvelle législation Italienne en matière d'électricité.*

Une première Commission, instituée par le Ministère de l'Agriculture, de l'Industrie et du Commerce, a élaboré, il y a deux ans, un projet de loi pour définir les unités électriques dont l'usage sera seulement autorisé, et régler le contrôle des instruments de mesure. Le projet de loi prévoit la création d'une Commission supérieure des mesures électriques, composée de représentants de la science pure et appliquée. Les premiers sont chargés plus spécialement de veiller à la bonne fabrication des étalons de mesure et à leur conservation, de proposer les noms des unités nouvelles et de poursuivre les recherches scientifiques se rapportant à ces sujets.

Les seconds auront plus particulièrement à s'occuper d'indiquer les méthodes de vérification et d'essais des instruments de mesure. La création de plusieurs laboratoires de l'État, où ces vérifications et essais pourront être effectués, a été prévue.

Une seconde Commission, instituée par le même Ministère, a tout récemment terminé sa tache et présenté un projet de loi embrassant, au point de vue juridique, tout le domaine, fort important, des installations et canalisations électriques. Ce projet de loi modifiera profondément la jurisprudence actuelle en tout que celle-ci a trait aux concessions et aux servitudes de passage. Le projet de loi stipule que tout demandeur de concession doit présenter la requête accompagnée d'un projet sommaire à la préfecture, s'il s'agit de lignes n'intéressant qu'une seule province; dans tous les autres cas, au Ministère d'Agriculture.

Le projet doit être déposé dans toutes les communes dans lesquelles se développe la canalisation et communiqué aux administrations Provinciales et Centrales. Les personnes ou les administrations intéressées sont admises pendant deux mois à former opposition ou à formuler des observations; dans le délai d'un mois, le de-

mandeur peut, à son tour, présenter ses observations et doit déclarer s'il acquièsce aux observations. Le Préfet décide en première instance sur les requêtes de sa compétence, s'il n'y a point d'opposition de la part de l'Administration, en accordant ou refusant la concession, suivant le cas, ou en imposant des conditions d'après les observations accueillies et le règlement général; règlement destiné à remplacer toutes les réglementations éditées jusqu'à présent par les différentes administrations centrales des Postes et Télégraphes, des travaux publics, de chemins de fer, etc.

Dans le cas où les observations d'une de ces administrations ne soient pas agréées, il est de la compétence du Ministre de l'Agriculture de décider sur la requête, l'avis de la Commission Centrale d'Électricité étant entendue.

Cette Commission est analogue au Comité permanent d'Électricité Français et composée de représentants des Administrations Centrales, de la science et de l'industrie.

Un recours contre les décisions du Préfet de la part des personnes intéressées est prévu auprès de la Vème Section du Conseil d'État. Les prescriptions concernant les distributions d'énergie électrique dans les villes sont réservées à l'Autorité Communale.

Grâce à la procédure ci-dessus indiquée, on parviendra à réduire dans une proportion importante l'intervention des tribunaux ordinaires et à remédier aux lenteurs de la procédure actuelle, sans rien changer toutefois à l'application de la loi commune en cas de dommages-intérêts. A fin de donner une compensation aux Provinces ou Communes pour les dommages que pourraient leur causer les installations électriques, on a proposé d'établir un impôt sur les canalisations électriques suivant leur longueur et le nombre de supports et de croisements.

Le ministre actuel de l'Agriculture S. E. F. S. Nitti, s'est personnellement beaucoup occupé des problèmes relatifs à la transmission et l'utilisation de l'électricité et, bien que la Commission n'ait pas été instituée par lui, a toujours fait preuve d'un grand intérêt pour ce sujet. Son Excellence a bien voulu déclarer son intention de soumettre le projet de loi au Parlement, de sorte que tout porte à croire que l'Italie verra s'accomplir, dans un court délai, une modification profonde dans sa législation concernant l'Électricité.

Un règlement, contenant toutes les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les installations et celles relatives aux croisements des lignes électriques, a été également élaboré par la commission ministérielle; l'orateur a eu l'honneur d'être rapporteur à ce sujet.

M. ERNEST GÉRARD (Bruxelles) — *a lu attentivement les excellents travaux des rapporteurs. Dans ces rapports, aussi bien que dans les compléments que viennent de leur donner MM. Arnò et Lombardi, on ne voit pas assez clairement la distinction qui lui paraît nécessaire entre le côté commercial de la législation et le côté technique; par exemple, telle commune, qui ne s'opposera pas à l'établissement d'un câble sur son territoire, soulèvera des difficultés si ce câble sert à distribuer et vendre du courant, en concurrance avec ses propres installations ou les concessions préexistantes.*

Il serait utile, en tous cas, que nulle entrave puisse être apportée à l'expansion des réseaux importants de distribution d'énergie électrique, en vue d'en répandre les bienfaits, ni aux prescriptions relatives aux mesures de sécurité; l'intérêt des communes peut être sauvegardé d'ailleurs par des mesures d'une autre catégorie, par des taxes ou autrement; mais c'est là un tout autre ordre d'idées qu'il convient de distinguer, croit-il, et de traiter séparément; il serait heureux d'entendre, à cet égard, l'avis des rapporteurs.

M. L. M. BARNET-LYON (La Haye) — *n'a pas traité du sujet visé par M. Gérard; à titre d'information, il fait la communication suivante:*

Selon le projet de loi Hollandais, une commune exploitant — pour donner un exemple — elle même une station centrale ou une usine à gaz, ne peut s'opposer directement à ce que les conducteurs d'une station centrale régionale traversent le territoire communal. Néanmoins, elle peut présenter ses objections à la députation provinciale, organe auquel il appartient de décider si l'intérêt général ne s'oppose pas à l'erection des lignes que la station régionale désire établir. Dans le cas supposé, la députation décidera, en règle générale, sauf exceptions pour considérations d'autre nature, que le droit de passage sera accordé au demandeur, éventuellement avec cette condition restrictive: qu'il ne lui sera pas permis de fournir de l'énergie électrique sur le territoire de la commune ou, par exemple, dans un rayon défini de celui-ci.

Cette décision est susceptible d'un recours auprès de la Couronne.

M. M. BONGHI (Naples) — *informe qu'il n'y a, jusqu'à présent, en Italie, aucun impôt sur les canalisations électriques. Jadis, les autorités locales ne pouvaient s'opposer à l'installation de telles canalisations, ni les réglementer, même si elles devaient servir à la distribution dans le territoire communal. A présent, la législation tend à modifier ce principe en se basant sur les lois générales de l'État; il est donc convenable que la nouvelle loi règle aussi cette*

matière. Naturellement, il ne s'agit pas d'accorder aux Municipalités le pouvoir de s'opposer à la distribution, ce qui serait contraire aux principes fondamentaux de la technique actuelle, qui tend à substituer aux petites centrales les grandes installations (hydrauliques ou thermiques) ayant un grand rayon d'action; mais il s'agit uniquement de réglementer l'exercice du droit de vente de l'énergie dans les communes, et cela dans l'intérêt de l'industrie et des consommateurs, avec l'intervention d'une autorité administrative étrangère à la Municipalité, et qui puisse concilier objectivement les différends éventuels et fixer les droits afférents et les taxes exigibles par les Communes.

M. V. M. H. Doppler (La Haye), — *eu égard à la discussion de l'intéressant exposé de M. Barnet Lyon relatif à la législation sur l'électricité dans les Pays-Bas, croit bien d'ajouter à cet exposé les remarques suivantes:*

Dans ces derniers temps surtout, il est surprenant de voir l'accroissement des stations centrales électriques dans tous les coins du pays.

Or, le réseau électrique de ces stations est limité par l'étendue de la commune où se trouve une telle station, de sorte que le prix de l'unité électrique atteint toujours un chiffre plus ou moins élevé.

En second lieu il remarque, qu'il est fort à craindre que, en continuant ainsi, une grande partie du pays restera, à l'avenir, dans une situation qui ne lui permettra peut-être jamais de connaître les avantages du courant électrique et d'en profiter.

Pour l'agriculture, qui se voit chaque année de plus en plus privée des forces humaines, ainsi que pour le développement de l'industrie, il viendra un jour où les résultats d'un tel système seront désastreux.

Dans ces circonstances, il a plu à sa Majesté la Reine de la Hollande, sur la proposition de son Ministre de l'Agriculture, de l'Industrie et du Commerce, de nommer, sous la présidence du Directeur Général de Travail, une Commission, composée de représentants des divers Ministères, de la Science, de l'Agriculture, de l'Industrie et du Commerce, afin d'étudier à fond la question, et par quels moyens il sera possible de distribuer l'énergie électrique le plus économiquement dans tout le royaume.

Avant de terminer M. Doppler dit quelques mots au sujet du contrôle, par le gouvernement, de la sécurité des installations électriques.

Ces dernières sont, quand elles se trouvent dans des entreprises industrielles, assujetties à l'inspection du Travail.

L'Inspection électrique est confiée à un ingénieur électricien, spécialement attaché à cet effet au service central de la dite inspection.

M. M. Bonghi (Naples) — *propose l'ordre du jour suivant:*

Le Congrès,

Considérant que, dans la plupart des États, la législation électrique est en voie d'établissement,

Considérant qu'il importe que, dans chaque État, les unités légales de vente et les règles techniques relatives aux travaux publics et aux rapports des diverses installations entre elles, soient déterminées,

Émet le vœu:

1° Que, dans la législation à élaborer, on sépare nettement la partie technique de la partie réglementaire;

2° Que la partie technique soit révisable et fixée par un Comité permanent d'électricité dans chaque État;

3° Que, dans chaque État, on établisse des règlements qui, sans porter atteinte aux droits des Communes, permettent, d'une manière facile et prompte, l'exécution des diverses installations.

L'ordre du jour est approuvé.



STUDIO COMPARATIVO

della tassazione elettrica diretta ed indiretta nei vari paesi.

Rapporto sul tema N. 28 del Congresso.

Relatore Ing. MARIO BONGHI (Napoli).

La tassazione di cui trattasi riguarda l'energia elettrica o gli apparecchi con cui detta energia è utilizzata: ma non sono solo queste le tasse che la colpiscono.

In Italia l'industria della produzione, distribuzione e vendita dell'energia, sia per la natura dell'ente o persona che l'esercisce, sia per i redditi industriali che essa dà al detto ente o persona, è pure tassata come qualunque altra industria con la tassa di circolazione per i titoli, con la tassa fondiaria per i fabbricati e impianti, con la tassa di R. M. per i redditi industriali, con i canoni per le derivazioni di acqua per le concessioni relative.

Dal più al meno lo stesso avviene anche all'estero, e quindi l'energia elettrica è doppiamente tassata come industria in generale e come industria in particolare.

Le tasse, che riguardano l'industria in generale, non formano oggetto della presente relazione, e mi limito ad accennarle, mentre analizzo partitamente le tasse che colpiscono l'industria in particolare (1).

NB. Le notizie raccolte mi son venute per la massima parte direttamente dai Ministeri esteri ed italiani competenti, e colgo l'occasione per ringraziare della cortesia usatami.

(1) Le tasse in Italia sono:

a) Canone annuo per la concessione di derivazione d'acqua L. 3 al HP idraulico, misurato dalla portata moltiplicata per la differenza dei due peli morti dei canali a monte ed a valle del meccanismo motore (*L. 10 agosto 1884, n. 2644*).



Sarebbe interessante sommare le due categorie di tasse per determinare quali sono gli oneri fiscali che complessivamente ricadono sull'industria di cui mi occupo, ma l'esame, oltre a diventare eccessivamente lungo e minuto, non giungerebbe a termini di confronto precisi, perchè troppi elementi concorrono nella determinazione delle tasse che colpiscono l'industria in generale nei varî paesi.

Tasse speciali sull'energia elettrica e sugli apparecchi che ad essa servono, limitando l'esame ai paesi europei (1), non ve ne sono che in Ispagna, Italia, Germania, ma, mentre le due prime nazioni tassano l'energia installata e prodotta, la Germania tassa gli organi illuminanti.

---

b) Imposta fondiaria (*L. 26 gennaio 1865, n. 2136 e seg.*).
1° sugli edifizî;
2° sui meccanismi incorporati negli edifizî stessi;
3° sulla forza motrice idraulica;
4° sui fabbricati delle stazioni ricevitrici;
5° sui canali e terreni.
(Aliquota dal 16 al 20 % del reddito imponibile pari ai $^2/_3$ del reddito lordo).
c) Sovratasse comunali e provinciali sull'imposta fondiaria. Dal 6 al 10 %.
d) Tassa circolazione titoli (*L. 4 luglio 1887, n. 414*).
e) Tassa di licenza d'esercizio da L. 25 a 100 (*L. 8 agosto 1885, n. 486*).
f) Tassa consumo sull'energia elettrica per illuminazione privata e riscaldamento (*L. 10 agosto 1884, n. 2644*).
g) Tassa comunale sull'energia elettrica ai privati (*L. 15 aprile 1895, n. 161*).
h) Tassa comunale di esercizio e rivendita (*L. 23 gennaio 1902, n. 25*).
i) Tassa di R. M. sui redditi industriali: 10 % sul reddito accertato (*Legge 24 agosto 1877, n. 4021*).
Sono inoltre allo studio:
l) Tasse dello Stato, comunali e provinciali, per l'occupazione di suolo per le condutture.
m) Aumento di canone d'acqua.
Il Fisco infine tende:
n) ad applicare una tassa fondiaria sulle condutture.
o) a dichiarare non ritraibili agli effetti della R. M. i canoni d'acqua, gl'interessi di obbligazioni, ecc.

(1) Negli Stati Uniti vi sono tasse di licenza per concessioni, ecc., ma queste non dipendono dal Governo Federale e sono varie nei criteri adottati, cioè percentuale sulla potenza dell'impianto, o sugl'incassi, o sui dividendi, o sul numero e lunghezza delle condutture, o sui canoni percepiti, ecc.: la loro determinazione dipende dai singoli Municipi. Oneri di tal natura vi sono, a vero dire, in ogni paese, e fan parte dei capitolati d'appalto.

In Austria alcuni Comuni hanno applicato tasse, come Mezzolombardo (18 Hellern per candela annua e 15 Kronen per HP), Brünn (Hellern 1 per Ettwattora).

In Russia è allo studio una tassa sull'energia elettrica e sul gas applicati all'illuminazione.

In Svizzera la produzione e distribuzione dell'energia è regolata da leggi e prescrizioni cantonali: non sono stabilite però tasse speciali, e in alcuni Cantoni, come Berna, Canton Ticino e Ginevra, esse sono di fatto conglobate con il canone per derivazione d'acqua.

In Francia tutta la legislazione relativa è allo studio: vi sono alcune tassazioni dipendenti dai contratti di concessione dei Comuni.

In Inghilterra le concessioni sono regolate dal Lighting Act 1899, che definisce le concessioni di produzione, distribuzione e vendita d'energia come concessioni di Stato, stabilendo norme non solo pei lavori, ma anche per la fornitura e per i prezzi della stessa.



In Ispagna la tassa riguarda tanto la produzione che il consumo: la prima è fissata col R. Decreto del 28 maggio 1896, modificata con l'ulteriore decreto del 12 maggio 1897, che fissa la tariffa 3ª N. 178, la seconda con la legge del 22 maggio 1900.

La tassa sulla produzione è fissata nella misura di pesetas 6,75 all'anno per Kw. installato in officina in relazione alla produzione media giornaliera e destinato all'illuminazione di terzi; nella misura di pesetas 3,375 all'anno per Kw. di produzione media giornaliera destinato all'illuminazione della fabbrica o per uso esclusivo dei fabbricanti; nella misura di pesetas 0,50 all'anno per Kw. di produzione media giornaliera destinato a forza motrice.

La produzione media giornaliera viene dedotta dalla produzione annuale divisa per 365, produzione che può essere determinata o in modo diretto o in modo indiretto: in modo diretto con contatori e con apparecchi registratori, in modo indiretto con la potenza dei generatori o con l'ammontare della vendita fatta ai privati, dedotte date percentuali di perdita (10 % per perdita di linea, 3 % per perdita di trasformazioni, salvo casi speciali).

A tale tassa fondamentale, per la legge 3 agosto 1907, venne

aggiunta a favore dei capiluoghi di provincia e città assimilate una sopratassa che può giungere al 40 %, il 6 % di esazione (questo calcolato sulla tassa fondamentale più il 16 % della sopratassa municipale) e due decimi addizionali.

Quando la forza utilizzata per produrre l'energia elettrica è idraulica, giusta il R. Ordine del 25 aprile 1904, vi è una sopratassa del 15 % calcolata sull'importo della tassa principale (tassa principale aumentata delle altre sopratasse del 40 %, del 6 %, dei 2/10 addizionali già superiormente indicati) se la forza idraulica è permanente: del 10 % se è solo per 9 mesi: del 5 % se è per meno.

La liquidazione è fatta in modo provvisorio per l'anno in corso al principio dell'anno, e rettificata alla fine dell'anno in base ai risultati effettivi dell'azienda.

La legge sul consumo è, come si è detto, del 22 maggio 1900, e stabilisce una tassa del 10 % sul prezzo di vendita del Kw.-ora impiegato per luce, ammettendo che il consumo sia sempre l'80 % del prodotto, salvo casi speciali ben dimostrati; si accorda però su tale tassa il 3 % al produttore per diritto d'esazione; l'esazione è fatta con le formalità delle tasse dello Stato, e si tien conto delle quote non esatte: la tassa è a carico del consumatore.

Sono ammessi canoni annui per i fabbricanti per uso proprio e in questo caso si ritiene come prezzo di vendita quello in vigore nella località o in quelle prossime con un abbuono massimo del 50 %: non giungendosi ad un accordo, il prezzo di vendita si riterrà di pesetas 0,50.

In Ispagna, la statistica del 1907 dà sul consumo dell'elettricità un incasso di pesetas 3.765.310 su una produzione di Kwora 94.798.820 con 2036 officine; nel 1908 l'incasso fu di pesetas 4.091.281 su una produzione di Kwora 84.397.324 con 2151 officine. Le statistiche danno le località, il nome delle ditte, potenzialità degli impianti e prezzo di vendita del Kw. Il regolamento che stabilisce le modalità d'imposizione e di esazione della tassa è semplice e dato il principio su cui la tassa si basa, di facile applicazione. Per legge i Comuni non possono sovraimporre sul consumo.

In Italia la legge sul consumo è stata promulgata due anni dopo che in Ispagna, cioè l'8 agosto 1895.

Questa tassa si divide in tassa di licenza, a carico del fabbricante, che effettivamente è paragonabile ad una tassa sulla pro-

duzione, o, per meglio dire, sulla potenzialità dell'officina, e in tassa di consumo, a carico del consumatore.

Il criterio per la tassa di licenza è quello del numero di abitanti serviti dall'officina, al quale numero si ammette proporzionale la potenza d'officina, e vien così graduata:

L. 20 per officina utilizzata e che serve alla fornitura nei Comuni inferiori a 5000 abitanti;

L. 50 per officina utilizzata e che serve alla fornitura nei Comuni fra 5000 e 10.000 abitanti;

L. 75 per officina utilizzata e che serve alla fornitura nei Comuni fra 10.000 e 50.000 abitanti;

L. 100 per officina utilizzata e che serve alla fornitura nei Comuni oltre a 50 mila abitanti.

La tassa di consumo invece è fissata in modo uniforme in L. 0,06 al Kw.-ora ed è applicata alla energia impiegata per luce e per riscaldamento.

È ammesso il canone annuale nei Comuni inferiori a 10.000 abitanti, dove, per di più, si ha un massimo di tassa per i *forfaits* di L. 3 annue per ogni lampada da 10 candele.

La determinazione della tassa è fatta sull'energia utilizzata presso gli abbonati e registrata dai contatori o dedotta dai contratti *à forfait.*

Il produttore, che è di fatti un esattore dello Stato, fa le esazioni senza alcun compenso a suo rischio e pericolo, ed è molto se è riuscito finora, più o meno completamente, a non pagare più di quello che effettivamente riscuote.

Con ulteriore legge del 23 gennaio 1902 n. 25 il Governo autorizzò i Comuni a imporre il dazio sul consumo del gas luce e dell'energia elettrica per illuminazione e riscaldamento, mediante liquidazione da farsi all'officina di produzione a carico del fabbricante, il quale ha diritto a rivalersene sui consumatori; liquidazione che è fatta dall'ufficio tecnico di finanza dello Stato con gli stessi criteri della legge 8 agosto 1895.

Si noti che per la legge del 15 aprile 1896, N. 161, i Comuni possono imporre un dazio di consumo nel limite del 20 % sul valore degli oggetti tassabili.

I criteri fondamentali della legge italiana, di stabilire una tassa indipendente dal prezzo di vendita per lo Stato e dal 20 % sul prezzo di vendita per i Comuni, con una distinzione a se-

conda dell'entità della popolazione (distinzione che, data la popolazione dei varî Comuni italiani, ha ben poco valore) (1), hanno finito per creare una tassa eccessiva per la vendita a contatore (prezzi medi a contatore da 0,40 a 0,70 al Kw.-ora), quasi proibitiva per la vendita *à forfait* della luce (prezzi medi *à forfait* da 0,25 a 0,40), che è il modo di vendita più economico e più facile per il meno abbiente, e addirittura proibitiva per le applicazioni elettriche al riscaldamento (come di fatto mostrano le varie statistiche), che possono divenire importantissime per la razionale utilizzazione delle officine, ma non possono sopportare prezzi tariffali alti.

La tassa ha colpito nell'esercizio 1° luglio 1909-30 giugno 1910 Ettw. 1.312.687.559 con circa L. 8.876.125, oltre i diritti di licenza su 7622 officine (circa L. 200.000); nel 1910-911 Ettw. 1.454.019.965 con L. 8.724.121, oltre i diritti di licenza su 7944 officine e proventi eventuali (circa L. 212.492). Nelle statistiche italiane mancano i dettagli già indicati nelle statistiche spagnuole, e fino al 1910 erano cumulativamente indicati i redditi per luce elettrica e gas; nel 1911 sono stati separati, vi ha però il calcolo della tassa che si sarebbe esatta per gli usi esenti da tassa, cioè illuminazione pubblica e forza motrice!

Nella statistica 1909-910 l'importo presunto per gli usi esenti sarebbe stato di circa 70 milioni per energia elettrica e gas (2).

Per quanto riguarda la tassa dei Comuni non esiste alcun dato, ed è questa una grave mancanza, perchè non permette di farsi

---

(1) Da uno studio dell'ing. Civita, pubblicato nel " Bollettino Ufficiale della A. E. I. „, n. 42-45, anno I, risulta che nell'Italia del Nord su 4800 Comuni solo 127 hanno popolazione superiore a 10.000 abitanti; nell'Italia Centrale su 907 ve ne sono 112; nell'Italia Meridionale su 1138 ve ne sono 139: parecchi Comuni inferiori ai 10.000 abitanti sono paesi di villeggiatura, e per parecchi Comuni l'importanza non è certo in relazione alla popolazione. Per una minoranza di Comuni. così sensibile, che non ha per di più alcuna relazione con l'importanza dei Comuni stessi specialmente se si considerano quelli fra i 9000 e 15.000 abitanti, si è creata una condizione sfavorevole ed una complicazione burocratica. Il nuovo censimento potrà modificare le cifre suindicate, ma l'incertezza del criterio di popolazione adottato dallo Stato resta ugualmente.

(2) Non sappiamo veramente per quale ragione tale cifra sia indicata, tanto più che dubitiamo dell'esattezza della cifra stessa, dati i criterî seguiti dal Fisco. Attualmente è stata pubblicata dal Ministero di A. I. e C. una statistica degli impianti elettrici nel decennio 1899-1908 in sui sono raccolti molti dati, e sarebbe opportuno che le statistiche industriali e quelle fiscali si accordassero fra di loro.



un criterio esatto dell'aggravio che vi è sull'industria elettrica che è, e può essere ancora di più per l'avvenire, fonte di enorme vantaggio per lo Stato.

In Germania, la tassa stabilita con la legge del 15 luglio 1909 riguarda, come abbiamo già detto, gli organi dell'illuminazione, cioè: le lampade elettriche ad incandescenza, le parti incandescenti delle stesse fabbricate separatamente, i carboni per le lampade ad arco e le lampade a vapore di mercurio e simili lampade elettriche.

Per le lampade elettriche la tassa è così stabilita:

a)

		lampade a carbone per pezzo	lamp. a fil. met. Nernst e simili
fino a 15	watt	5 pfennig	10 pfennig
da 15 a 25	"	10 "	20 "
da 25 a 60	"	20 "	40 "
da 60 a 100	"	30 "	60 "
da 100 a 200	"	50 "	1.00 "

Per maggiore consumo 25 pf. in più nelle lampade a filamento di carbone per ogni 100 watt; 40 pf. in più nelle lampade a filamento metallico, Nernst e sim. per ogni 100 watt.

b) Per reticelle a gas filamento per lampade ad incandescenza, 10 pfenning per pezzo.

c) Per carboni di lampade ad arco:
carboni puři, 60 pfenning al Kg.;
carboni con aggiunte di sostanze illuminanti e per qualsiasi altro tipo di carbone, 1 marco per Kg.

d) Per lampade a vapore di mercurio e simili fino a 100 watt, 1 marco per pezzo; per lampade con consumo superiore, 1 marco per ogni 100 watt in più.

La tolleranza sopra le cifre indicate in watt è del 15 %, fissando però che per le lampade fino a 20 watt la tolleranza stessa è di 3 watt.

Per gli apparecchi guasti vengono concessi degli abbuoni del 5 % sulle lampade a carbone e sui carboni elettrici; del 10 %

sulle lampade a filamento metallico Nernst e simili. Per l'esportazione tutti gli oggetti suindicati sono liberi da tassa.

Nel semestre 1° ottobre 1909-31 marzo 1910 i risultati della tassa sono stati i seguenti:

lamp. fil. carb. . . .	Mr.	945.000
„ „ metal. . . .	„	1.571.200
„ a merc.	„	11.100
carb. arch. semp. . .	„	728.200
„ „ met. . . .	„	411.800
	Mr.	3.667.300

il che darebbe all'anno una tassa da 7 ad 8 milioni di Mr.

È da aggiungere che in alcuni paesi, come in Austria, vi sono delle tasse per la taratura obbligatoria dei contatori, e ciò come applicazione della legge sui pesi e misure: in altri la taratura dei contatori presso uffici pubblici è facoltativa. In Italia non è determinata la misura per la vendita dell'energia elettrica ufficialmente, mentre in quasi tutte le altre nazioni d'Europa tale misura è fissata per legge.

Tra le tasse che colpiscono l'industria in generale, ma più specialmente l'industria dell'energia elettrica che quasi esclusivamente usa e trasforma l'energia idraulica, è certo da considerare la tassa sopra le derivazioni d'acqua, e insieme con questa tassa gli oneri di carattere fiscale e di espropriazione relativi al trasporto dell'energia: tale parte però è riservata all'egregio Dott. E. Frey, che tratta nella sua relazione al Congresso precisamente del trasporto e distribuzione d'energia elettrica, specialmente in relazione del progetto di legge in Svizzera sopra le utilizzazioni delle forze idrauliche. In Italia le leggi che regolano tali materie sono: quella del 10 Agosto 1884 sulle derivazioni d'acque pubbliche, e quella del 7 Giugno 1894 sulla trasmissione a distanza delle correnti elettriche, leggi che sono state le prime in Europa, e che han dato e dànno in massima buoni risultati: sono allo studio modifiche dell'una e dell'altra legge, in modo da integrarle e completarle nelle parti dove si siano mostrate insufficienti: purtroppo è da temere però che tali modifiche, oltre a correggere le mancanze delle leggi citate, introducano oneri maggiori degli attuali, come aumento del canone per le acque, cessioni obbligatorie di forze a prezzo di costo, e tasse per l'occupazione del suolo pubblico per le condutture elettriche.

La legislazione italiana deve in tale materia coordinarsi per non moltiplicare le tasse sullo stesso cespite, in modo anche difforme da caso a caso, danneggiando profondamente uno sviluppo industriale da cui l'Italia molto ha da attendere (1).

---

(1) Il dottor Frey non ha potuto intervenire al Congresso, e, data l'importanza che il canone sulle derivazioni d'acqua ha sulla distribuzione dell'energia elettrica, tanto più che in alcuni paesi si esclude ogni tassa sull'acqua, tassando solo l'energia prodotta, come, per esempio, in Ispagna, ed in altri si tassa solo l'acqua escludendo qualsiasi tassa sull'energia elettrica, come in Isvizzera, credo opportuno riassumere i dati principali delle leggi esistenti in materia:

Svizzera: Vi hanno leggi speciali in ogni Cantone, e per ora sono pubblicate quelle del Cantone di Ginevra (30 sett. 1882), Cantone di Berna (26 maggio 1907), Cantone Ticino (17 maggio 1894). Con queste disposizioni si tende a riservare agli esercizi pubblici le maggiori derivazioni, con concessioni perpetue. Le concessioni private sono fatte per un periodo determinato di anni, al massimo di 40 anni nel Canton Ticino e di 50 nel Cantone di Berna, salvo rinnovo o rimborso al concessionario alla fine della concessione delle spese fatte a stima.

Le piccole forze fino a 12 HP sono gratuite nel Canton di Berna; per le altre forze, sempre in relazione al HP effettivo usato (rendimento 75 % sulle turbine) vengono pagati dei canoni da 1 a 5 lire, variando il canone col crescere della forza.

Austria: Le concessioni sono regolate dalla legge fondamentale dello Stato del 21 dicembre 1867, e son date dai Consigli Provinciali o enti pubblici locali con condizioni speciali, caso per caso: in generale non vi sono canoni, ma interessenze degli enti od oneri equivalenti.

Ungheria: Le basi del diritto sono all'incirca quelle dell'Austria. Le concessioni vengono date al massimo per 50 anni.

Germania: In Germania ogni Stato della Confederazione ha sue speciali norme, nonostante che la legge dell'Impero del 28 dicembre 1883 ammetta il diritto dell'Impero di legiferare in proposito.

a) *Prussia*. — Nella Prussia vigono ancora antiche norme di diritto, e si può dire che le concessioni d'acqua son regolate dalle leggi 15 novembre 1811 e 28 febbraio 1843. I rivieraschi possono usare dei corsi d'acqua privati fino a metà del fiume, e occorre quindi l'accordo loro o disposizione legislativa speciale in proposito per impianti idraulici.

La legge del 1° aprile 1879 stabilisce il modo di costituire consorzi obbligatorî, ed esempi di tali consorzi, fatti però con leggi speciali, sono quelli relativi al Wupper e al Ruhr.

Sono in corso progetti di una nuova legislazione.

b) *Baviera*. — È stata approvata nel 1907 una nuova legge, per la quale l'uso delle acque è determinato da speciali concessioni, date per un periodo di tempo determinato. Facilitazioni sono date agli enti, e sono ammessi gli espropri forzati. I canoni sono trascurabili, ed hanno unicamente per fine il riconoscimento del diritto dello Stato.

c) *Sassonia*. — È allo studio un progetto di legge.

d) *Würtemberg*. — È in vigore dal 1902 una nuova legge. Le concessioni di



Ciò premesso, volendo paragonare l'entità delle tasse nei varî paesi, è opportuno osservare quanto segue:

1° In Italia vi è la tassa di licenza ed è tassata non solo l'energia per illuminazione, ma anche l'energia per riscaldamento, escluso ogni aggravio sulla illuminazione pubblica e sulla forza motrice, salvo le tasse sulle concessioni d'acqua: mentre in Ispagna è tassata la produzione tutta tenendo conto dell'es-

---

acqua sono date dal Governo dietro un canone di Mr. 5 per HP fino ad un massimo di Mr. 5000. L'uso di acque, qualora si verifichino le condizioni per fare una concessione, è soggetta ad una tassa da Mr. 5 a 150. Anche qui vi sono facilitazioni per gli enti ed espropri forzati.

e) *Baden*. — È in vigore dal 26 giugno 1899 la nuova legge sulle acque. Vige il regime delle concessioni per un massimo di 60 anni, con canoni minimi e speciali concessioni di favore per gli enti ed espropriazioni forzate per pubblica utilità.

Francia: È stata promulgata nel 1908 una nuova legge con la quale si disciplinano i diritti rivieraschi, e si stabiliscono norme per le officine private privilegiate e quelle per utilità pubblica. Per le prime il concessionario deve dimostrare di avere assunti dei diritti rivieraschi e simili, ed è ammessa l'assunzione da parte dello Stato dopo un determinato numero di anni dietro indennizzo o canone di fitto.

I diritti dei rivieraschi, meno quelli per irrigazione ed usi potabili, sono trasformabili in indennità.

Per le seconde si tratta di concessioni fatte dallo Stato con diritto di espropriazione per pubblica utilità. Tali concessioni sono adibite ad usi pubblici.

Le durate delle concessioni e oneri sono stabiliti caso per caso con speciali capitolati.

È opportuno notare che un canone sulle acque, rappresentando un onere patrimoniale per il concessionario o un aumento percentuale sul prezzo di vendita all'utente, deve essere fra l'altro tale da porlo in favorevoli condizioni rispetto a quello di altre forze: ora una forza termica annua, compreso interesse ed ammortamento, varia oramai in limiti abbastanza determinati a seconda dell'entità della forza e delle modalità dell'uso, mentre una forza idraulica varia da caso a caso a seconda delle spese necessarie per la sua utilizzazione: un canone quindi fisso sulle acque o deve esser basso, o deve tener conto delle condizioni speciali di costruzioni ed utilizzazioni variando entro limiti determinati. A tali criteri poi si uniscono quelli relativi allo sviluppo di un paese ed alla messa in valore di forze brute.

Per quanto riguarda le leggi sulla distribuzione di energia elettrica, basta notare che posseggono leggi speciali, oltre l'Italia, la Francia del 15 giugno 1806, la Svizzera del 24 giugno 1902, l'Inghilterra del 1899, e che l'Olanda ne ha approvata una in quest'anno.

In queste leggi e nei decreti emanati in corrispondenza, sono fissati speciali oneri per il controllo e per l'occupazione di suolo pubblico.

sere la produzione termica o idraulica ed il consumo per l'illuminazione pubblica e privata.

2° In Italia la determinazione della tassa di consumo è indipendente dal prezzo di vendita per lo Stato, e dipendente da detto prezzo per i comuni e, a tenore della legge, per i *forfaits* avrebbe a base il potere illuminante; in Ispagna è in relazione colla vendita.

3° In Germania gli apparecchi illuminanti son tassati in modo generale, in relazione però al loro consumo unitario; sono esenti la produzione ed il consumo.

Ammesso:

1° Che un Kw. installato in officina abbia un'utilizzazione media di 3000 ore, di cui 2000 per forza motrice e 1000 per luce;

2° Che il prezzo medio di vendita oscilli da L. 0,40 a L. 0,30 per illuminazione privata e da L. 0,25 a 0,15 per illuminazione pubblica e da 0,08 a 0,10 per riscaldamento;

3° Che una lampada tanto a filamento metallico che a filamento di carbone abbia una durata media da 500 a 1000 ore, e che l'intensità media di lampada sia di 16 candele;

4° Che la lampada ad arco media sia di 8 amp. con un consumo di 320 watt, e che i carboni elettrici subiscano in questa un consumo di Kg. 0,002 se puri, e di Kg. 0,003 se metallizzati, per lampada;

Si ha che in Italia l'energia elettrica per illuminazione e riscaldamento privato è tassata:

per licenze d'esercizio circa		L. 0,003
per consumi:		
a) tassa governativa .	L. 0,06	
b) idem comunale . .	„ 0,06 [1]	
c) idem di posteggio, ecc.	„ 0,01	„ 0,130
		L. 0,133

[1] Effettivamente i Municipii che hanno applicata la tassa sono circa 1000, e la tassa oscilla da 0,02 a 0,08 al Kw.: manca qualsiasi elenco o statistica; risulta però che attualmente vanno quasi tutti i Comuni rapidamente applicando tale tassa. I Comuni che usufruiscono attualmente della illuminazione elettrica in Italia sono circa 1600, ed il loro numero aumenta rapidamente.

cioè dal 30 al 45 % del prezzo di vendita per illuminazione, e dal 130 al 160 % per riscaldamento, oltre, s'intende, la tassa sulle concessioni d'acqua che si può ritenere rappresenti, tenuto conto dei rendimenti, circa 0,003.

In Ispagna abbiamo che l'energia elettrica per illuminazione, con forza a vapore, è tassata:

Tassa di produzione		L. 0,0225
idem di consumo:		
a) tassa governativa . .	L. 0,037	
b) idem comunale . . .	„ 0,022	
idem addizionale	„ 0,006	„ 0,065
		L. 0,0875

Quella con forza idraulica è tassata col 10 % in più sulla tassa di produzione, se per illuminazione, e non vi hanno canoni per acqua. La forza motrice è tassata solo con 0,0016.

In Germania per la sola illuminazione pubblica e privata abbiamo:

Tassa sugli apparecchi (ammesso 1/5 lampade a filamento di carbone, 3/5 lampade a filamento metallico, 1/5 lampade ad arco) .	L. 0,066 a 0,033.

Dedotta in tal modo approssimativo l'entità delle tasse che gravano direttamente la vendita d'energia elettrica, è opportuno esaminare le modalità di esazione, poichè una tassa, oltre che per il suo valore assoluto, può diventare più o meno gravosa per le modalità di esazione.

In Italia l'applicazione della legge ha dato luogo ad una serie di lotte giudiziarie sulle modalità di esazione, che il Fisco voleva determinare dalla produzione con detrazioni a stabilirsi, e gli utenti volevano limitare ai consumi accertati presso gli abbonati: ciò dimostra che la legge è poco chiara, e tutto rende opportuno un cambiamento di essa che, oltre a ridurne l'enorme aggravio e rendere facile l'applicazione ed il controllo, permetta un'estensione nell'uso dell'energia elettrica, con vantaggio dello Stato e del contribuente (1).

(1) *Atti parlamentari*, Camera dei Deputati, XIX legisl., vol. 44, pag. 52.

Tali modifiche dovrebbero, a parer mio, consistere nell'avvicinarsi alla legge spagnuola, e al criterio adottato anche in Italia pel dazio comunale, cioè render la tassa proporzionale al prezzo di vendita.

Col controllo delle bollette degli abbonati, l'esazione diventerebbe facilissima, e, poichè una riduzione delle tariffe è sempre accompagnata da uno sviluppo maggiore nella vendita, il Governo non avrebbe nulla a temere della variabilità delle tariffe stesse: sarebbe tolta perdippiù la stridente ingiustizia che si ha nell'applicazione della tassa ai fabbricanti per uso proprio, al che la Spagna ha opportunamente provveduto. Ad evitare poi la varia ed arbitraria tassazione dei Comuni si potrebbero facoltare questi ad imporre una sovratassa, rappresentata da una percentuale della tassa principale, analogamente a quello che è stato fatto in Ispagna.

Il criterio tecnico di tassazione, che è stato base della legge italiana, era di gravare in egual misura sull'unità di effetto utile prodotto dal gas e dalla corrente elettrica (1): gli studi allora iniziati diedero un rapporto di Ettwh. 3,3 a metro cubo di gas per illuminazione: per il riscaldamento, il cui rapporto sarebbe di circa 5000 calorie per m³ di gas ed 864 calorie per un Kwora, non fu tenuto presente alcun rapporto, applicando senza criterio tecnico lo stesso coefficiente che per l'illuminazione.

Tale criterio mi sembra non possa adottarsi in generale, perchè il rendimento luminoso è variabile a seconda del progresso della tecnica, e non è in diretta relazione col costo dell'agente illuminante: difatti tale rapporto ha cambiato (2), e la legge è rimasta non solo antiquata nella sua parte tecnica, ma ingiusta nella sua parte fiscale, poichè, mentre la produzione di elettricità per la massima parte avviene o avverrà con l'utilizzazione di energie esistenti nel paese, la produzione delle altre illuminazioni per la massima parte è fatta con materia prima importata, che è o esente da dazio (carbone) o con dazio ridotto (petrolio): l'energia idraulica invece è tassata in sè stessa e indirettamente.

Tale osservazione riguarda anche la Spagna, la quale, partendo da un concetto erroneo, grava dippiù la produzione idroelettrica della energia, tenendo solo presente l'economia che

---

(1) *Atti parlamentari*, Camera dei Deputati, XIX legisl., vol. 44, pag. 52.

(2) Nella *Nota* della pagina seg. è fatto un paragone fra varie intensità luminose.

ha il produttore e non il vantaggio economico dello Stato nel facilitare tali utilizzazioni. In Ispagna però è da tener presente che, non essendo gravata di canone la concessione idraulica, il danno è meno grave.

In Germania la tassa è sugli apparecchi di illuminazione, ed è una tassa di fabbricazione: tale tassa è certamente di più

Nota.

Lampade a liquido:	*cm³ per ora*	*cm³ per candela-ora int. orizz.*
Lampade a petrolio	50-150	4,5-3
Incandescenza a petrolio	50-100	1,5-1
Lampade a gas:	*litri per ora*	*litri per cand.-ora int. orizz.*
Acetilene (becchi a due fori)	20-60	0,9-0,6
Gas luce a farfalla	140-500	12-8
„ „ Argaud	100-500	10-7
Incandescenza a gas ordinaria	80-180	1,6-1,2
„ „ a becchi rovesciati	60-120	1,8-0,8
Lampade Lukas	250-650	1,2-1
Gas compresso (Millennio a Pharos)	200-1200	1,2-0,8
„ „ (luce Selas)	200-1500	1-0,8
Lampade elettriche:	*watt*	*watt per cand. di int. media orizzon.*
Incandescenza filamenti di carbone	20-350	4-3
„ „ metallizzati	10-100	2,5-2
Nernst	50-200	1,8-1,5
A tantalio	20-80	1,8-1,6
Ad osmio	25-50	1,6-1,5
Wolfram ed Osram	25-220	1,2-1
	watt	*watt per cand. int. max*
A vapore di mercurio di vetro ordinarie	200-500	0,9-0,7
„ „ „ di quarzo	300-900	0,4-0,25
	watt	*watt per cand. int. emisf.*
Ad arco ordinario di meno di 8 Ampères	200-450	1-0,7
„ „ di più di 8 Ampères	450-1500	0,7-0,5
„ „ in miniatura	150-350	1,4-1
„ „ economiche	350-900	1-0,7
„ chiuso	400-1000	1,2-0,9
A fiamma a carboni ad effetto sovrapposti	300-1000	0,45-0,3
A fiamma intens. a carboni ad effetti convergenti	300-1100	0,25-0,17
„ „ „ ordinari	600-1200	1,1-0,8

Tale tabella, calcolata dal Block (*Journal für Gasbel.*, 1906, dà come risultato, che si può ammettere uguale, il rendimento luminoso di un litro di gas e di

complessa esazione di una tassa di consumo sull'energia elettrica e non è, a parer mio, da preferire sia in sè stessa, sia per le modalità di esazione.

Si potrebbe osservare infine che in Italia l'illuminazione con l'acetilene non è tassata, mentre è tassata dalla Spagna direttamente e dalla Germania indirettamente: data però la poca importanza di tale illuminazione, non credo sia il caso di occuparsene; ad ogni modo l'Italia si è rivalsa di tale omissione col tassare il riscaldamento elettrico che non è tassato altrove.

---

1 watt-ora di energia elettrica; naturalmente la molteplicità dei tipi speciali. l'uso della corrente alternata o continua, la varietà dei corpi incandescenti può variare tale rendimento, ed allo stato attuale si può adottare wattora 1,2 equivalente a 2 l. di gas.

Il potere calorifero medio per 1 m^3 di gas è di 5000 calorie e il potere calorifero di 1 Kwattora è di 864,5 calorie; il rendimento nelle stufe a gas si può ritenere del 60 %, mentre quello delle stufe elettriche può salire fino al 90 % circa, a seconda dei tipi.

Giova notare che il principio fiscale, bene espresso nella relazione alla legge italiana, fu alterato nella dizione della legge stessa e più ancora nel regolamento da una preparazione tecnica insufficiente e confusa: così, per es., furono adottate per unità l'Ettwatt-ora, la candela-ora, ecc., fu esaminato superficialmente il rendimento luminoso di un becco a gas e di una lampada ad incandescenza a filamento di carbone, e su questo esame si stabilì la proporzione della tassa fra il gas e la luce elettrica, tanto per la illuminazione che per il riscaldamento, i controlli tecnici furono espressi non solo in termini vaghi, ma contraddittorî fra di loro.



RÉSUMÉ

L'ing. Bonghi limite son rapport à l'impôt direct et indirect sur l'énergie électrique, et examine l'état actuel de la législation dans les pays d'Europe et aux États-Unis.

Dans presque tous les États, les villes ont arrêté des impôts sous différentes formes, soit dans les actes de concession aux sociétés, soit par des délibérations ayant force de loi; en Espagne, en Italie et en Allemagne existent seulement des impôts généraux établis par une loi.

En Espagne, on paye l'impôt sur toute la production calculée d'après la production moyenne journalière de l'usine avec une surtaxe pour les communes, et sur la consommation pour l'éclairage public et privé, établie sur le prix de vente.

En Italie l'impôt porte sur la production (tassa di licenza), *proportionnellement à la population des communes où l'on exploite l'usine; en outre, il y a l'impôt sur la consommation pour l'éclairage privé et le chauffage, sous forme de taxe fixe par Kw., avec des rabats sur les forfaits établis dans les communes où la population est inférieure à 10.000 habitants: les communes, en Italie, peuvent aussi imposer jusqu'à 20 % du prix de vente.*

En Allemagne, l'impôt est établi sur les appareils d'illumination.

En raisonnant sur des données déterminées jadis, en comparant les différents impôts, à L. 0,133 par Kw. en Italie pour l'éclairage privé et le chauffage, à L. 0,0875 pour éclairage privé et public en Espagne et à L. 0,066-0,033 pour éclairage privé et public en Allemagne, Mr. Bonghi propose que, pour la nouvelle loi qu'on étudie en Italie, on choisisse, pour base de l'impôt, le prix de vente de l'énergie électrique, et non le pouvoir éclairant ou calorifique; qu'on réduise, en même temps, la valeur absolue de l'impôt, particulièrement pour le chauffage: il croit que cette réduction serait avantageuse pour l'État, comme pour le contribuable; en Espagne, il ne s'explique pas pourquoi on doit payer un impôt plus élevé lorsqu'on emploie l'énergie hydraulique; l'intérêt de l'État, pour l'Espagne et pour l'Italie, est de rendre possible l'exploitation des forces hydrauliques.

Mr. Bonghi observe enfin, que, si l'on parle d'un impôt direct ou indirect sur l'éclairage, en Italie on a oublié le carbure de calcium; l'importance de ce système d'éclairage est, d'ailleurs, relativement faible.

DISCUSSION

M. D. CIVITA (Milan), — *A propos des arguments traités par M. Bonghi, observe qu'il est douloureux, pour les Italiens, de constater que les entreprises industrielles de production et de distribution de l'énergie électrique soient frappées de 16 taxes de toutes sortes, qui grèvent de 25 fr. par an toute puissance de un cheval installé dans les centrales hydroélectriques, outre la taxe de consommation qui, avec l'octroi communal, dépasse 13 centimes par Kwh, tandis que le prix moyen de vente du Kwh pour éclairage domestique ne dépasse pas 30 cent. Il n'est pas d'avis que la force motrice électrique puisse tolérer une augmentation de taxe quelle qu'elle soit, et croit même dangereux d'y faire allusion.*

Puisqu'en Italie, malheureusement on ne peut espérer une réduction de taxes, il en résulterait que le gouvernement taxerait davantage la force motrice, suivant le mauvais exemple de l'Espagne, sans diminuer les taxes sur l'éclairage. Il doit, de plus, rappeler qu'il est déjà question d'élever à 8 fr. la redevance annuelle au profit de l'État sur les concessions d'eau, laquelle est actuellement de 3 fr., augmentation qui, en tenant compte des rendements, porterait la taxe effective à 14 fr. par cheval électrique installé.

Il conclut en exprimant le vœu que le gouvernement italien, préoccupé par le fait que la taxe sur le chauffage en rend impossible l'application, élimine cette taxe ou la réduise à une très petite valeur proportionnée aux impositions qui chargent le gaz et les autres combustibles; et, en même temps, modifie les lois fiscales de sorte que le développement des applications électriques puisse progresser au lieu d'être entravé et surtout dans un pays qui, faute de combustibles, doit chercher toutes ses ressources dans l'utilisation des forces hydrauliques.

M. M. BONGHI (Naples). — *Résume les principes qui ont guidé le fisc italien dans l'application des taxes, principes qui, acceptés, auraient fini par altérer la valeur de la taxe en faisant payer même l'énergie volée ou perdue.*

Il est d'avis qu'avec de simples modifications de la loi actuelle on ne puisse sortir du gâchis de taxes dont est frappée l'énergie électrique en Italie, et qu'il faut étudier le problème dans son ensemble, et ramener la taxation à un impôt unique avec surtaxes en faveur des Communes. La taxe unique pourrait comporter plusieurs catégories en rapport avec les différentes applications de l'énergie électrique, en laissant de côté, en principe, la considération du chiffre de la population, qui n'a rien d'absolu, ni techniquement, ni économiquement.

Il est également opposé à toute taxation de la force motrice; l'Italie n'a taxé ni force motrice, ni charbon, ni autres combustibles en vertu d'un principe de haute économie; par contre elle a altéré ce fait par des impôts indirectes, tels que la taxe sur la concession des eaux, les taxes foncières, etc.

Il pense enfin que le mieux serait de baser les taxes sur le prix de vente, et non sur des principes abstracts, tels que les rendements lumineux, calorifiques ou mécaniques. Ces principes abstracts ne peuvent qu'être subordonnés au principe susdit, en vue des progrès incessants de la technique. Naturellement, la taxation ad valorem *peut être comprise entre un maximum et un minimum pour éviter de trop sensibles différences.*

M. E. PIAZZOLI (Milan), *est d'accord, en principe, avec M. Bonghi, mais est pourtant d'avis, en ce qui regarde la taxation de l'énergie, qu'il résulte nettement de la discussion actuelle que le Congrès estime nuisible à l'industrie électrotechnique toute taxation qui, outre l'éclairage, frapperait, en général, la production ou l'utilisation de l'énergie électrique comme force motrice.*

M. G. GROSSO (Rome), *observe que la loi du 8 août 1905 ne taxe pas la production aux tableaux de distribution, mais la consommation de l'énergie électrique chez les consommateurs. Il assure que les bureaux techniques, dans leurs évaluations, observent scrupuleusement les dispositions de la loi, en faisant toutes les déductions pour pertes, force motrice, etc... Il observe encore que le droit d'exercice n'est pas une taxe de production, puisqu'il est indépendant de la quantité d'énergie produite par chaque usine.*

Il pense que l'on a donné à la discussion un trop grand développement et que, demander pour l'énergie électrique l'application d'une taxe globale tenant compte des impositions chargeant les autres industries, revient à formuler un desideratum *difficile à être pris en considération.*

Il croit que le Congrès devrait se borner à examiner la loi actuelle

sur la consommation de l'énergie électrique et sur le gaz sans se préoccuper des autres lois, telles que celles sur les dérivations d'eaux, la valeur mobile, l'impôt sur les bâtiments, etc.... Il est contraire à la proposition du rapporteur de considérer la taxe proportionnelle aux prix de vente.

MM. M. Bonghi *et* D. Civita, *présentent la* motion *suivante:*

Le Congrès:

Considérant que la diffusion des applications de l'électricité a produit des avantages considérables pour l'économie générale des nations et que chaque État a tout intérêt à favoriser le développement ultérieur de l'industrie, de la production, de la distribution et de l'utilisation de l'énergie électrique;

Considérant que la tendance finale des gouvernements à l'égard de l'électricité doit être maintenue dans des limites raisonnables, afin de ne pas entraver le développement de cette industrie;

Considérant que, de toutes les applications de l'électricité, l'éclairage est la seule susceptible de supporter des charges fiscales, pourvu qu'il soit observé un juste équilibre par rapport aux autres systèmes d'éclairage, et à condition que les Communes n'aient pas la faculté d'en altérer arbitrairement le montant;

Considérant enfin qu'un impôt quelconque sur le chauffage électrique en prohiberait absolument l'application, ainsi qu'on l'a déjà constaté dans les pays où cet impôt existe:

Émet le vœu:

1° Que les États n'établissent pas des impôts sur la production et la vente de l'énergie électrique, à l'exception unique de l'éclairage privé;

2° Qu'un tel impôt soit établi et appliqué de manière à ne pas mettre l'éclairage électrique dans une condition d'infériorité par rapport aux autres modes d'éclairage;

3° Que les surimpôts municipaux supplémentaires ne soient pas laissés à la discrétion des Communes, mais réglés par l'État, et ne puissent dépasser des limites fixées à l'avance;

4° Que les statistiques financières soient rédigées d'accord avec celles des exploitations, et renferment tous les renseignements permettant de les consulter utilement.

La motion est approuvée par la Section.



INDICE

SEZIONE IV

ILLUMINAZIONE E RISCALDAMENTO ELETTRICO

SEZIONE V

TRAZIONE E PROPULSIONE ELETTRICA

SEZIONE VI

TELEGRAFIA E TELEFONIA

SEZIONE VII

ACCUMULATORI
ELETTROCHIMICA - ELETTROMETALLURGIA
ED ALTRE APPLICAZIONI

SEZIONE VIII

TARIFICAZIONE - TASSAZIONE E LEGISLAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

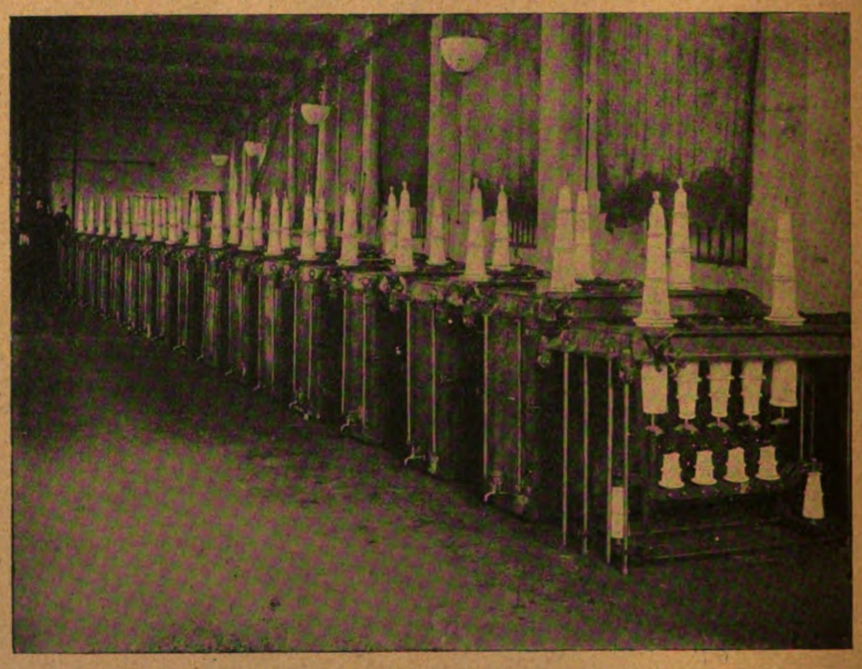
Laboratorio Elettrotecnico

Ing. LUIGI MAGRINI

BERGAMO

Apparecchi e quadri di distribuzione per impianti a

Basse, Alte, ed Altissime Tensioni



Un gruppo di interruttori a 90.000 Volts.

RAPPRESENTANTI

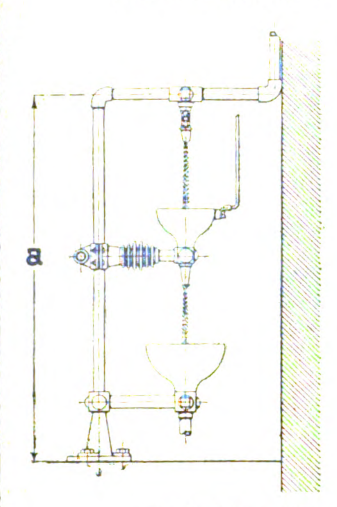
Per l'Italia:
- Ing. **Dante Fiorini** . . . . . **MILANO,** via Marsala, 13.
- Ing. **Aurelio Cortivo** . . . . **ROMA,** via S. Nicola da Tolentino, 50.
- Soc. per Impianti Elettrici e Meccanici . **CATANIA,** via Umberto I, 50.

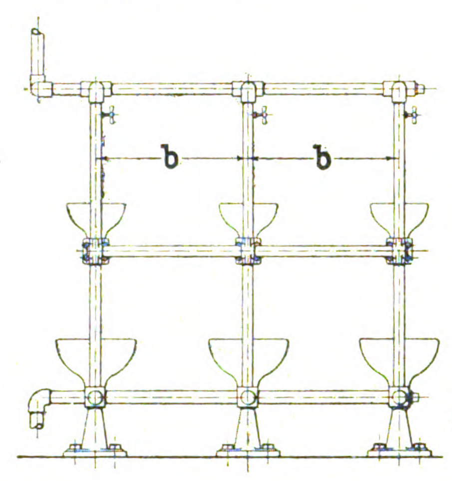
Per il Belgio: Ing. **Georges Vandamme** . . **BRUXELLES,** rue Pierre Decoster, 31.

Telefono N. **6-76.** Telegrammi: ***Fantini-Bergamo.***

OFFICINE ELETTROTECNICHE BERGAMASCHE A. FANTINI & C.

Via dei Mille, 8 - **BERGAMO** - *8, Via dei Mille*





Onorificenze
ALLE
Esposizioni:

BRESCIA
Medaglia d'Oro

MARSIGLIA
Medaglia d'Oro

TORINO
Diploma d'Onore

Scaricatore a getto d'acqua per alte ed altissime tensioni.

Costruzione e montaggio di quadri per centrali, stabilimenti e cabine di trasformazione

Apparecchi elettrici da quadro e da linea, automatici ed a mano per tensioni sino a 70000 Volts e per intensità sino a 5000 Amp.

Protezione degli impianti contro le sovratensioni e le scariche atmosferiche.

Limitatori di corrente per impianti a forfait *di luce e forza*

→ **Cataloghi e Preventivi gratis a richiesta** ←



Quadro a cofano con interruttore automatico di massima intensità e minima tensione.

